

GRONDEN
DER
WISKUNDIGE AARDRIJKSKUNDE.

LEIDDRAAD BIJ HET ONDERWIJS IN DE COSMOGRAPHIE
AAN MIDDELBARE SCHOLEN,

DOOR
Dr. C. P. BURGER.

Vijfde, herziene druk.

MET FIGUREN.

NATUUR- EN
STERRENKUNDE
RU UTRECHT

4A00

206

LEIDEN,
SCHE BOEKHANDEL VAN P. ENGELS EN ZOON.
1885.

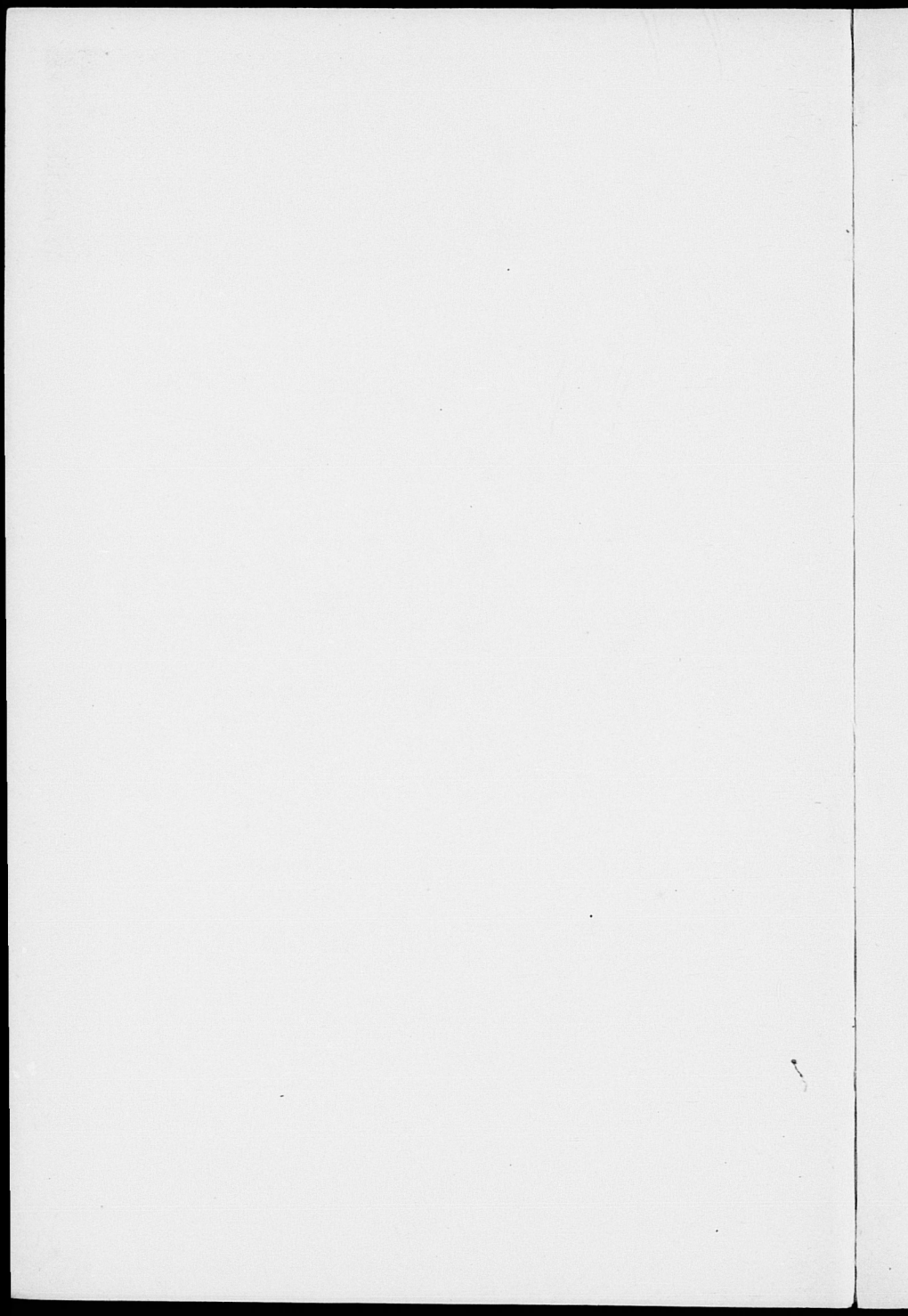
N^o 40 (= VII A 60)

f 1,00

VACHT ZONNEBURG
UTRECHT.



4/1001



GESCHENK
VAN
Prof. J. A. C. OUDEMANS.
AUGUSTUS 1900.

GRONDEN
DER
WISKUNDIGE AARDRIJKSKUNDE.

9

LEIDEN: BOEKDRUKKERIJ VAN D. DONNER.

gee

GRONDEN

DER

WISKUNDIGE AARDRIJKSKUNDE.

LEIDDRAAD BIJ HET ONDERWIJS IN DE COSMOGRAPHIE
AAN MIDDELBARE SCHOLEN,

DOOR

Dr. C. P. BURGER.

Vijfde, herziene druk.

MET FIGUREN.

RIJKSUNIVERSITEIT TE UTRECHT



1973 3967

LEIDEN,
ACADEMISCHE BOEKHANDEL VAN P. ENGELS EN ZOON.
1885.

II D 40
(= VII A 60)

Sterrewacht Zonnenburg
UTRECHT.

1917/1918

WEEKLY RECORD - 1917/1918

THE RECORD OF THE

1917/1918

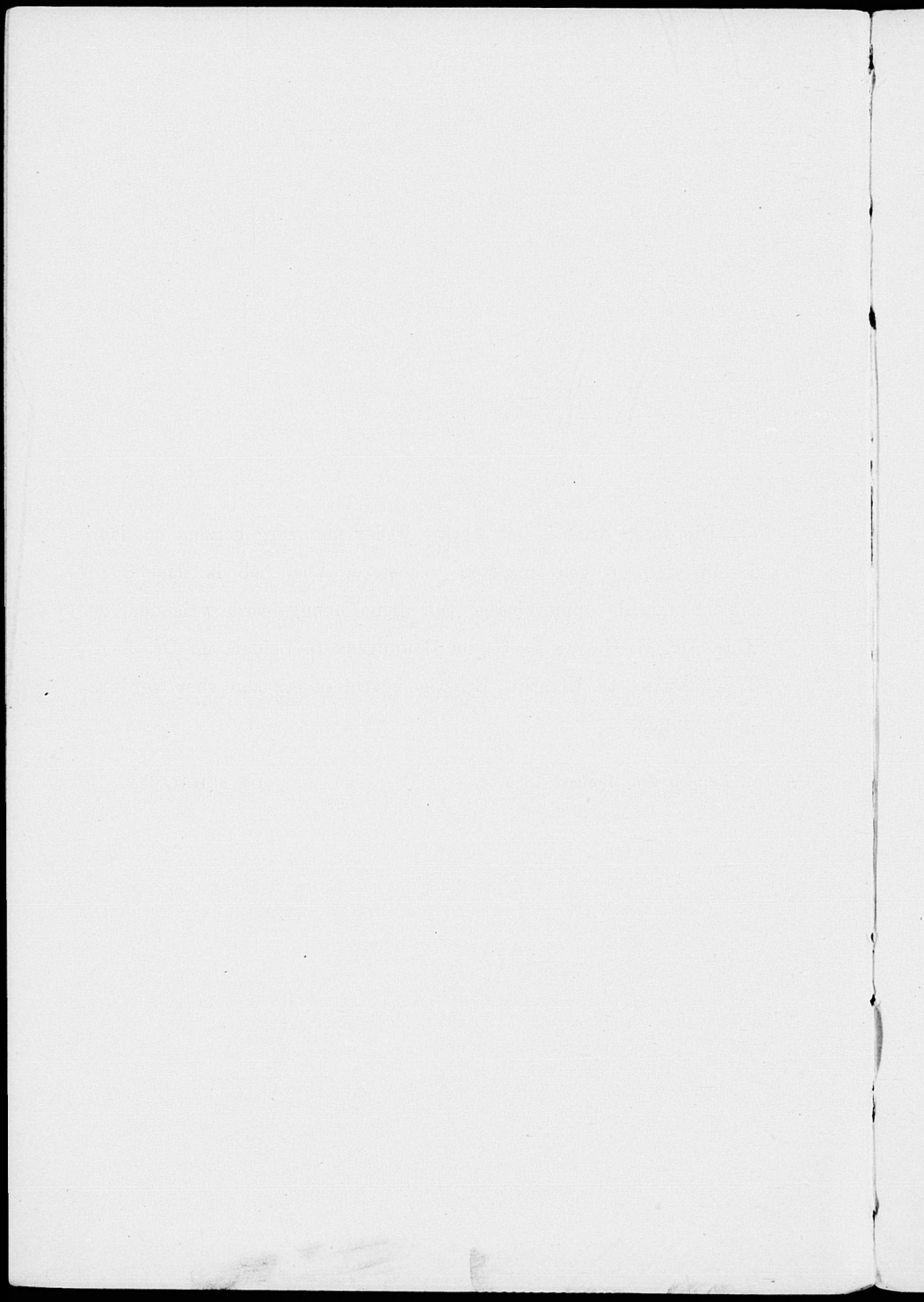
1917/1918

1917/1918

Bij dezen druk is het werkje weder met zorg herzien en naar ik mij vlei, op vele plaatsen verbeterd. Veel heb ik daarbij te danken aan de opmerkingen van mijne hooggeleerde vrienden, de H. H. Dr. H. G. VAN DE SANDE BAKHUYZEN te Leiden, en Dr. J. A. C. OUDEMANS te Utrecht. Ernstig beveel ik mij aan voor verdere opmerkingen.

Leeuwarden, Januari 1885.

DE SCHRIJVER.



INHOUD.

	Blz.
HOOFDSTUK I. Eenvoudigste verschijnselen, en onmiddellijk daaruit afgeleide gevolgen.....	1
§ 1. Verschijnselen, die men op de aardoppervlakte waarneemt....	—
§ 2. " die de zon ons aanbidt.....	2
§ 3. " die men bij de sterren waarneemt.....	5
§ 4. " die de maan ons oplevert.....	8
§ 5. Gevolgen, onmiddellijk uit de voorgaande waarnemingen afgeleid	10
HOOFDSTUK II. Gedaante en grootte der aarde. — Plaatsbepaling op aarde	12
§ 1. Gedaante der aarde.....	—
§ 2. Herinnering aan de voornaamste eigenschappen van den bol..	13
§ 3. Plaatsbepaling in een plat vlak en op het bolvormig oppervlak	15
§ 4. Plaatsbepaling van punten op den aardbol.....	16
§ 5. Bepaling van de grootte der aarde.....	20
§ 6. Nadere bepaling van de gedaante der aarde.....	22
HOOFDSTUK III. Plaatsbepaling op den hemelbol.....	25
§ 1. Inleiding.....	—
§ 2. Plaatsbepaling door middel van den aequator.....	26
§ 3. " " " der ecliptica.....	29
§ 4. Teruggang der Nachteveningen.....	32
HOOFDSTUK IV. Plaatsbepaling op den Hemelbol (vervolg). — Stand van den sterrenhemel voor verschillende plaatsen op aarde.....	34
§ 1. Uurcirkel en uurhoek.....	—
§ 2. Plaatsbepaling door middel van den waren horizon.....	35
§ 3. Standen van den sterrenhemel voor verschillende plaatsen op aarde.....	37
§ 4. Stand der zon voor verschillende plaatsen op aarde. Luchtstreken	38
§ 5. Tegenvoeters, tegenwoners, omwoners.....	40
§ 6. Straalbreking. Schemering.....	41
§ 7. Dagelijksche parallaxis.....	42
HOOFDSTUK V. Dagelijksche beweging der aarde om hare as.....	45
§ 1. Mogelijkheid en waarschijnlijkheid.....	—
§ 2. Tegenwerpingen.....	46
§ 3. Gronden voor de beweging der aarde.....	47
§ 4. Opmerkingen.....	52

	Blz.
HOOFDSTUK VI. <i>Zon, maan en planeten. Meeningen der ouden, Stelsel van Copernicus</i>	53
§ 1. Schijnbare beweging der zon in de ruimte.....	—
§ 2. " " " maan in de ruimte.....	54
§ 3. Planeten, die bij de ouden bekend waren.....	—
§ 4. Planetenstelsel volgens Ptolemaeus.....	57
§ 5. Stelsel van Copernicus.....	58
§ 6. Ontdekking van Galileï.....	60
§ 7. Iets over de beweging van de aarde om de zon en van de maan om de aarde.....	—
HOOFDSTUK VII. <i>Wetten van Keppler en Newton</i>	63
§ 1. Wetten van Keppler.....	—
§ 2. Uitbreiding en bevestiging dezer wetten door latere waarnemingen	65
§ 3. Wet van Newton.....	66
§ 4. Storingen der planeten. Praecessie en nutatie.....	67
§ 5. Watergetijden.....	70
§ 6. Jaarlijksche Parallaxis.....	72
§ 7. Aberratie en snelheid van het licht.....	73
HOOFDSTUK VIII. <i>Tegenwoordige kennis van het zonnestelsel. Iets over de hogere streken des hemels</i>	75
§ 1. Uranus en Neptunus.....	—
§ 2. Asteroiden.....	76
§ 3. Manen der planeten, en ring van Saturnus.....	77
§ 4. Onze tegenwoordige kennis van het zonnestelsel.....	78
§ 5. Kometen. Vallende sterren. Zodiakaal-licht.....	81
§ 6. Iets over de hogere streken des hemels.....	83
Chronologische tabel van de in dit werkje voorkomende jaartallen..	85

EERSTE HOOFDSTUK.

EENVOUDIGSTE VERSCHIJNSELEN EN ONMIDDELLIJK DAARUIT AFGELEIDE GEVOLGEN.

§ 1.

Verschijselen, die men op de aardoppervlakte waarneemt.

- a. Als men zich ergens bevindt, waar men vrij om zich heen kan zien, dan schijnt de oppervlakte der aarde rondom begrensd te zijn door het daarop rustende hemelgewelf.
- b. De grens tusschen den grond en het hemelgewelf vertoont zich aan ons oog als de omtrek eens cirkels, in welks middelpunt wij ons bevinden, en waarvan het vlak gevormd wordt door het alsdan zichtbare gedeelte der aardoppervlakte.

Deze grens noemt men den natuurlijken *horizon* of den *gezichteinder*; indien die grens door de oppervlakte der zee wordt ingenomen: de *kim*.

Met behulp van een kijker kan men wel de verwijderde voorwerpen duidelijker zien, maar men behoudt dezelfde grens.

- c. Het vlak dat bepaald wordt door het vrije bovenvlak van eene in rust zijnde vloeistof noemt men *waterpasvlak* of *horizontaal vlak*. Loodrecht daarop staat de lijn, die men *verticaal* noemt, en waarvan de richting wordt bepaald door die van het

pas- of schietlood. Elk vlak, dat door de vertikaal gaat, noemt men *verticaalvlak*. Is het terrein effen, en onze verheffing boven den grond gering, dan schijnt de gezichteinder vrij wel samen te vallen met het horizontale vlak, dat door ons oog gaat.

- d. Hoe hooger men zich boven den grond verheft, op een toren, of berg, of in een luchtbol, des te grooter gedeelte van het aardvlak kan men zien. In dit geval ligt de gezichteinder merkbaar lager dan het door ons oog gedachte horizontale vlak (*kimduiking*).
- e. Bevindt men zich op zee of aan het strand, dan ziet men hetzelfde, maar veel duidelijker, omdat geene voorwerpen het uitzicht op de kim belemmeren of de aandacht afleiden. Een schip, dat zich verwijderd, ziet men eerst vóór, dan op de kim; daarna verdwijnt het er achter, en wel eerst de romp en dan de mast. Van een schip, dat aankomt, ziet men eerst het bovengedeelte.
- f. Bij verplaatsing ziet men dat de gezichteinder zich mede verplaatst, waardoor in de richting, waarheen men zich beweegt, voortdurend andere voorwerpen zichtbaar worden, in de tegengestelde richting echter vroeger zichtbare voorwerpen achter de kim verdwijnen.

Het besprokene geldt voor alle plaatsen op aarde, mits het uitzicht vrij zij. In hoeverre de overige in dit Hoofdstuk op te geven verschijnselen zich voor andere plaatsen op aarde wijzigen, zullen wij in Hoofdstuk IV mededeelen. Zij gelden voor elke plaats in Middel-Europa.

§ 2.

Verschijnselen, die de zon ons aanbiedt.

- g. De zon komt elken morgen op in de *ooststreek*; klimt in een boog, die ten opzichte van het horizontale vlak een

schuinen stand heeft, op; bereikt des middags hare grootste hoogte in het *zuiden*; daalt vervolgens weder in schuine richting en verdwijnt des avonds achter den gezichteinder in de *weststreek*, aan de tegenovergestelde zijde, als waar zij opkwam. Juist aan het zuiden tegengesteld is het *noorden*; daar zien *wij* de zon nooit.

- h. Het hoogste punt, dat de zon des daags bereikt, heet haar *culminatiepunt*; en wanneer zij het bereikt, dan *culmineert* zij.

Er verloopt telkens nagenoeg evenveel tijd van eene culminatie tot de volgende, dat is van middag tot middag. Dezen tijd noemt men *dag* of *etmaal*, en $\frac{1}{24}$ daarvan heet *uur*.

In het dagelijksche leven rekent men het etmaal gewoonlijk te beginnen, niet met den middag, maar met *middernacht*, dat is met het oogenblik, dat even ver van twee op elkaar volgende middagen verwijderd is.

Den boog, dien men de zon gedurende een dag aan den hemel ziet afleggen, noemt men *dagboog*; den weg, dien men onderstelt dat de zon des nachts onder den gezichteinder aflegt, *nachtboog*.

- i. De hoogte der culminatie is verschillend naar den tijd van het jaar, maar alle culminaties hebben nagenoeg in een zelfde verticaalvlak plaats, dat men het *meridiaanvlak* der plaats van waarneming noemt. Dit vlak snijdt het horizontale vlak volgens eene lijn, die naar het zuiden en noorden is gericht. De daarop loodrecht staande horizontale lijn, bepaalt de richting van het oosten en westen. Keert men zich op den middag naar de zon, dan heeft men het *zuiden* voor en het *noorden* achter zich, het *oosten* aan zijne linker- en het *westen* aan zijne rechterhand.

Deze 4 richtingen noemt men *kompassstreken*, even als de tusschengelegen richtingen, waaraan men namen heeft gegeven, ontleend aan die der hoofdrichtingen.

- j. Als men een stok loodrecht op den horizontalen grond stelt

en de lengte der schaduw opteekeent, dan vindt men dat deze op den middag 't kortst is, en op een bepaald uur vóór den middag dezelfde lengte heeft als even langen tijd na den middag, terwijl de richtingen van deze even lange schaduwen met de richting der middagschaduw gelijke hoeken vormen. Dit kan ons dienen om de richting der bovenbedoelde lijn, die van het zuiden naar het noorden loopt, te vinden.

- k. Tweemaal 's jaars, op of omstreeks den 21^{en} Maart en den 23^{en} September, komt de zon juist in het oosten op en gaat juist in het westen onder; dag en nacht zijn dan even lang. (Hier beteekent *dag* het gedeelte van het etmaal, dat de zon op is; *nacht*, dat zij onder is).

Van den 21^{en} Maart af, komt de zon elk etmaal iets noordelijker op, en gaat iets noordelijker onder dan het vorige. De dagen worden alsdan steeds langer, de nachten steeds korter.

Op of omstreeks den 21^{en} Juni is de dag het langst en de nacht het kortst. De punten van opkomst en ondergang der zon zijn dan zoo ver mogelijk naar het noorden gelegen.

Daarna begint de lengte der dagen weder af te nemen; de punten, waar de zon op- en ondergaat, vallen van dag tot dag nader bij de O. en W. punten, maar nog altijd aan de noordzijde.

Den 23^{en} September zijn dag en nacht weder aan elkander gelijk, terwijl de zon dien dag weder juist in het oosten opkomt en in het westen ondergaat.

Op of omstreeks den 21^{en} December is de dag het kortst en de nacht het langst. De punten van opkomst en ondergang der zon zijn dan zoo ver mogelijk naar het Zuiden gelegen.

Van September tot December worden de dagen steeds korter, van December tot Maart weder langer, maar zijn

al dien tijd korter dan de nachten. Tusschen September en Maart komt de zon bezuiden het O. op, en gaat bezuiden het W. onder.

- l. Hoe langer de dag is, des te langer is de dagboog, en des te grooter de middaghoogte van de zon. Zij bereikt de grootste middaghoogte, die *wij* ooit aan haar kunnen waarnemen, omstreeks den 21^{en} Juni, haar laagsten middagstand omstreeks den 21^{en} December.

§ 3.

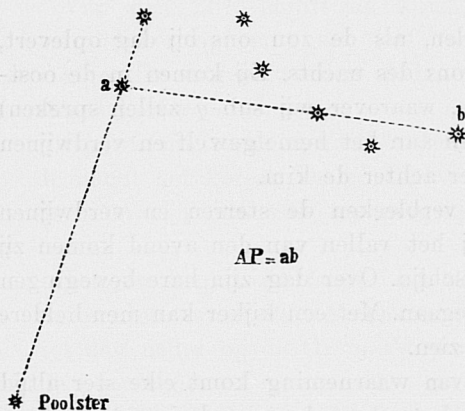
Verschijnselen, die men bij de sterren waarneemt.

- m. Dergelijke verschijnselen, als de zon ons bij dag oplevert, vertoonen de sterren ons des nachts. Zij komen in de ooststreek op (behalve die, waarover wij sub *q* zullen spreken) bewegen zich in bogen aan het hemelgewelf en verdwijnen in de weststreek weder achter de kim.
- n. Als de zon opkomt, verbleeken de sterren en verdwijnen voor ons gezicht. Bij het vallen van den avond komen zij allengs weder te voorschijn. Over dag zijn hare bewegingen aan den hemel voortgegaan. Met een kijker kan men heldere sterren ook over dag zien.
- o. Voor dezelfde plaats van waarneming komt elke ster altijd in hetzelfde punt van de ooststreek op, culmineert altijd op dezelfde hoogte juist in het meridiaanvlak, gaat altijd in hetzelfde punt van de weststreek onder en vertoeft telkens even lang boven de kim. In deze opzichten is dus de beweging der zon van die der sterren onderscheiden.
- p. Wanneer men eenige nachten achtereen den sterrenhemel beschouwt, dan blijkt het spoedig, dat nagenoeg alle sterren gedurende hare beweging denzelfden afstand tot elkander behouden.

Van oudsher heeft men ze daarom te zamen kunnen nemen in groepen, die men *sterrenbeelden* of *constellatiën* noemt.

- g. De bogen, die dagelijks door de sterren beschreven worden, loopen alle evenwijdig aan elkander. Aan de N. zijde des hemels vinden wij sterren, die nooit ondergaan, maar gesloten kringen aan den hemel beschrijven, welke kleiner en kleiner worden, naarmate zij nader zijn gelegen bij een punt aan den hemel, dat onbewegelijk schijnt, en dat men de *Noordpool des hemels* noemt. Nabij deze Noordpool staat eene vrij heldere ster, die men *Poolster* noemt.

Deze ster kan men gemakkelijk vinden met behulp van eene zeer kenmerklijke groep van zeven sterren, die tot het sterrenbeeld van den *Grooten Beer* of *Wagen* behooren.



Voor het bloote oog schijnt het, alsof de Poolster geheel stil staat, maar eene nauwkeurige meting leert dat ook deze ster een klein cirkeltje beschrijft.

- r. Het schijnt alsof de sterren bevestigd zijn aan de binnenzijde van een hollen bol (*hemelbol*), die met

eenparige snelheid omwentelt om eene denkbeeldige spil, *as des hemels* genoemd. Het voor ons zichtbare uiteinde dezer *as* noemt men *noordpool* des hemels; het andere uiteinde, dat door de aarde voor ons oog bedekt is, heet *zuidpool* des hemels.

De Poolster is alleen daarom voor ons merkwaardig, omdat zij zeer nabij de noordpool des hemels ligt, en ontleent haar naam aan deze omstandigheid.

- s. Als men zich met de voornaamste sterrenbeelden heeft bekend gemaakt, bemerkt men enkele sterren, die wel in de dagelijksche beweging deelen, maar tevens op eene onregelmatige wijze tusschen de aan den hemelbol bevestigde sterren schijnen rond te dwalen. Deze noemt men *planeten* of *dwaalsterren*, en *kometen* of *staartsterren*.

De andere heeten *vaste sterren*.

- t. Ook de zon heeft eene eigene beweging tusschen de vaste sterren, zij blijft namelijk op den duur in de dagelijksche beweging bij deze achter. Dit kan men daaraan zien, dat de sterren, die op een bepaald uur des avonds opkwamen, volgende avonden op hetzelfde uur reeds een eind wegs aan den hemel zijn gevorderd, en dat de sterren, die kort na de zon ondergingen, eenige dagen later na zonsondergang onzichtbaar zijn.

Eerst na verloop van een jaar heeft de zon weder dezelfde plaats tusschen de sterren bereikt. Ten opzichte van de vaste sterren schijnt de zon in een jaar tijds aan den hemel een kring te doorloopen, dien men *zonsweg* of *ecliptica* noemt.

- u. Een uurwerk, dat naar *sterrentijd* geregeld is, wijst steeds 24^u tijdsverloop aan tusschen twee opvolgende culminatiën van eenzelfde vaste ster. Zulk een uurwerk zal een volmaakt eenparigen gang hebben.

Als het uurwerk 24^u tijdsverloop aanwees tusschen twee op elkaar volgende culminatiën der zon, dan zou het den *waren zonnetijd* aangeven. Om dit te doen zou het uurwerk soms iets sneller, soms iets langzamer moeten loopen.

Bij eenparigen gang, zoodanig dat het in een jaar tijds even veel etmalen als de ware zonnetijd had aangewezen, zou het aangeven, wat men *middelbaren zonnetijd* noemt. Op een bepaald oogenblik in het jaar doet men den middelbaren zonnetijd met den waren samenvallen; overigens zal de een bij den ander soms iets voor, soms iets achter zijn: dit verschil noemt men *tijdsvereffening*.

Het naar sterrentijd geregelde uurwerk wint per etmaal op het naar middelbaren zonnetijd geregelde omstreeks 4 min., per jaar een geheel etmaal.

- v. Als wij oostelijk of westelijk op reizen, dan zal ons uurwerk, dat *hier* den middelbaren tijd aanwees, op eene meer oostelijk liggende plaats nà, op eene meer westelijk liggende vóór zijn. Als men steeds oostelijk op reist, zijn ons de dagen korter dan gewoonlijk; als men naar het westen reist, langer.

Als wij naar het zuiden reizen, ontdekken wij aan de zuidzijde des hemels voortdurend sterren, die wij vroeger niet bespeurden. Hoe zuidelijker wij komen, des te lager staat de noordpool aan den hemel, en eindelijk wordt zij geheel onzichtbaar. Bij eene reis naar het noorden komt de pool allengs hooger. De onderlinge afstand der vaste sterren toont echter geene verandering, hoe men zich ook over de oppervlakte der aarde verplaatse.

§ 4.

Verschijselen, die de maan ons oplevert.

- w. De maan deelt met zon en sterren in de dagelijksche omdraaiende beweging van den hemel; evenals de zon blijft zij bij de sterren achter, en wel meer dan de zon, want gemiddeld culmineert zij elken dag drie kwart uur later dan den vorigen.
- x. Deze eigene beweging der maan tusschen de sterren is licht waar te nemen, want men ziet dikwijls sterren nabij de maan. Daarbij ziet men wel eens, dat eene ster door de maan bedekt wordt, maar nooit dat eene ster vóór de maan heengaat.
- y. Een ieder weet, dat de maan *schijngestalten* (*phases*) heeft.

Als zij tegelijk met de zon opkomt, is de geheele schijf donker en dus onzichtbaar; als de maan opkomt omstreeks zonsondergang en ondergaat omstreeks zonsopkomst, dan is zij geheel verlicht. Het eerste noemt men *nieuwe maan*, (N. M.) het tweede *volle maan* (V. M.)

Op de dagen na nieuwe maan zal de maan later dan de zon opkomen, en later dan deze ondergaan, zoodat wij haar nog eenigen tijd na zonsondergang aan den hemel zien. Dan bespeuren wij, dat eene smalle strook aan de rechterzijde verlicht is, die elken dag iets grooter wordt. Als de rechterhelft der maanschijf (dat is de helft, die zich aan onze rechterzijde bevindt, als wij de maan beschouwen) verlicht is, dan heeft men *eerste kwartier* (E. K.). Alsdan gaat de maan omstreeks middernacht onder.

Elken daarop volgenden nacht gaat de maan iets later onder, en is een grooter gedeelte er van verlicht, totdat het volle maan is. De volgende nachten komt de maan na zonsondergang op, en aan de rechterzijde verliest eene steeds breeder wordende strook haar licht, totdat, omstreeks eene week na volle maan, alleen de linkerhelft der maanschijf verlicht is. Dit is *laatste kwartier* (L. K.). Alsdan komt de maan omstreeks middernacht op.

Van dien tijd af komt de maan steeds later in den morgen op, en wordt het nog verlichte gedeelte aan de linkerzijde steeds kleiner, tot dat het nieuwe maan is.

N. M., E. K., V. M. en L. K. noemt men de schijngestalten der maan, of in het dagelijksche leven hoofdphases.

Van elke hoofdphase tot de volgende verloopt nagenoeg eene *week*.

Van elke nieuwe maan tot de volgende verloopt omtrent eene *maand*.

De tijdrekening bij maanden is ook oorspronkelijk uit de schijngestalten der maan ontstaan. Doordien bij de Christe-

lijke jaartelling het zonnejaar in 12 maanden is verdeeld, zijn tegenwoordig die maanden eene willekeurige verdeeling van het jaar, geheel onafhankelijk van de maan. In de Israëlitische en sommige Oostersche tydrekeningen zijn de maanmaanden behouden.

- z. Nog moeten wij spreken over de *eclipsen* of *verduisteringen*. Men heeft *zoneclipsen* en *maaneclipsen*. De eerste hebben alleen plaats bij nieuwe, de andere bij volle maan.

Maar niet bij elke nieuwe of volle maan heeft eene eclips plaats.

Bij eene *zoneclips* ziet men de maanschijf voor de zon gaan en daardoor haar licht onderscheppen. Wordt slechts een gedeelte der zonneschijf voor ons oog bedekt, dan noemt men de eclips *gedeeltelijk*; is de geheele zonneschijf achter de maan verscholen, *totaal*; *ringvormig* is de eclips, als de maan midden voor de zon staat, maar de rand der zon zich rondom de maanschijf als een lichte ring vertoont. Eene zelfde zoneclips kan voor de eene plaats op aarde totaal, voor eene andere gedeeltelijk zijn. Bij eene totale eclips worden de helderste sterren aan den hemel zichtbaar. (*n*).

Bij eene *maaneclips* wordt het licht der volle maan geheel of gedeeltelijk verduisterd. De afscheiding tusschen licht en donker op de maanschijf vertoont zich, ofschoon niet scherp geteekend, nagenoeg als een cirkelboog.

Op alle plaatsen op aarde, waar men eene maaneclips zien kan, vertoont zij zich op dezelfde wijze. Eene zoneclips daarentegen vertoont zich voor elk ander standpunt verschillend.

§ 5.

Gevolgen, onmiddellijk uit de voorgaande waarnemingen afgeleid.

Het meest in het oog loopende gevolg is dat, waarover Hoofdstuk II zal handelen. Andere gevolgtrekkingen zijn:

- 1°. De afstanden, die de vaste sterren tot onze aarde hebben, zijn zooveel malen grooter dan de grootste afstanden op aarde, dat deze laatste bij de eerste nauwelijks in aanmerking komen (*v*).
 - 2°. De hemelbol zet zich ook achter den gezichteinder onder de aarde voort, en zon, maan en sterren doorloopen geheele cirkels, waarvan bij de meeste een gedeelte voor ons onzichtbaar is (*h, m, q, w*).
 - 3°. De maan is dichter bij ons dan de sterren (*x*); ook dan de zon (*z*).
 - 4°. Daaruit, dat de zoneclips soms totaal, soms ringvormig is, blijkt, dat zon en maan elk op zich zelf, of ten minste een van beide, soms nader bij ons zijn, soms verder van ons.
 - 5°. De maan is op zich zelf een donker lichaam en ontleent haar licht aan de zon (*y*).
 - 6°. De maan is geen platte schijf, maar hare naar ons toegekeerde zijde is bol (*y*).
 - 7°. Eene maaneclips wordt veroorzaakt door een donker lichaam, dat zich tusschen zon en maan plaatst; en omdat de maaneclipsen altijd bij volle maan plaats hebben, is dat lichaam geen ander dan de aarde zelf.
-

TWEEDE HOOFDSTUK.

GEDAANTE EN GROOTTE DER AARDE. — PLAATS- BEPALING OP AARDE.

§ 1.

Gedaante der aarde.

Oudtijds hield men bijna algemeen de aarde voor eene platte schijf. Uit de waarnemingen blijkt, dat zij moet zijn een begrensrd rond lichaam.

Als gronden hiervoor noemt men de volgende:

- 1°. De begrensde gezichteinder (Hoofdst. I. *a*, *b*, *c*).
- 2°. Het zich uitbreiden van den gezichteinder, naarmate men zich hooger boven den grond verheft (*d*).
- 3°. Het verdwijnen achter de kim van schepen, die zich verwijderen (*e*).
- 4°. Het tijdsverschil, bij eene verplaatsing oostelijk of westelijk op (*v*).
- 5°. De standverandering van den sterrenhemel, wanneer men naar het noorden of het zuiden reist (*v*).
- 6°. Het zich voortzetten van het hemelgewelf achter de kim en onder de aarde (Hoofdst. I. § 5. 2).

7°. De vorm der aardschaduw op de maan bij eene maaneclips
(I. z. § 5. 7).

8°. De reizen om de wereld.

Er zijn nog meer gronden, die wij hier niet kunnen bespreken. Niet al de hier genoemde hebben gelijke kracht. Aan N°. 1, 2, 3 kan men niet veel bewijzkracht toekennen, omdat men telkens slechts een zeer klein gedeelte der oppervlakte kan overzien, en vele bijkomende omstandigheden een juist oordeel belemmeren; aan N°. 7 niet, om de onzekere begrenzing der schaduw.

Bijna volmaakte zekerheid geven ons N°. 8, 4 en 5, vooral met het oog daarop, dat men, uitgaande van de onderstelling dat de aarde rond is, en de reizen daarnaar inrichtende, steeds op de verlangde plaats uitkomt.

In hoofdzaak heeft onze aarde de gedaante van een kogel of bol.

Daarom kan men zich eene vrij juiste, verkleinde afbeelding der aarde maken door eene *aardglobe*.

§ 2.

Herinnering aan de voornaamste eigenschappen van den bol.

Een *bolvormig oppervlak* is de plaats van alle punten in de ruimte, die op gelijken afstand van eenzelfde punt verwijderd zijn.

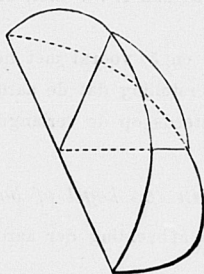
De binnen dit oppervlak besloten lichamelijke uitgebreidheid heet *bol*, het gegeven punt *middelpunt*, de afstand *straal* des bols. Elke lijn, die door het middelpunt des bols gaat, heet *middellijn*. Hare lengte binnen den bol is = 2 stralen.

Eene rechte lijn, die twee punten van het oppervlak vereenigt, heet *koorde*, en is, wanneer zij niet door het middelpunt gaat, korter dan de middellijn.

Elk plat vlak, dat den bol in twee deelen verdeelt, snijdt het oppervlak volgens een cirkel. Als het vlak door het middelpunt gaat, dan is de straal van dien cirkel = den straal des bols, anders kleiner dan deze. In het eerste geval heeft men een *grooten*, in het andere een *kleinen cirkel*.

De lijn, die in het middelpunt van een grooten of kleinen cirkel loodrecht op het cirkelvlak staat, is eene middellijn des bols. Deze lijn heet de *as* van dien cirkel, en de punten, waarin zij het oppervlak doorboort, zijn de *polen* des cirkels.

Door drie punten op het oppervlak eens bols kan men altijd één plat vlak brengen. Liggen twee van die punten in de uiteinden eener middellijn des bols, dan snijdt dat vlak den bol volgens een grooten cirkel.



Door twee punten op het oppervlak eens bols kan men altijd een grooten cirkel brengen. De *kortste lijn*, die op het bolvormig oppervlak twee punten vereenigt, is de boog van een grooten cirkel.

De *hoek*, dien twee vlakken te zamen maken, is de hoek, gevormd door twee lijnen, die, elk in een der vlakken, in een zelfde punt op de gemeene doorsnede loodrecht staan. Wanneer die twee vlakken groote cirkels van den bol zijn, dan kan men voor dat punt het middelpunt van den bol nemen, en vindt dan, dat de hoek van die twee vlakken gemeten wordt door den boog van den grooten cirkel, die de gemeene doorsnede der beide vlakken tot as heeft, voor zoover die boog tusschen de beide vlakken begrepen is.

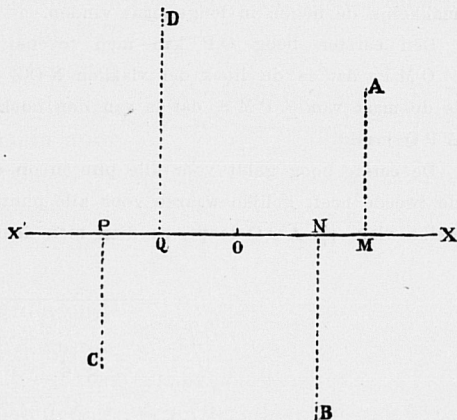
Een *rakend vlak* aan den bol is een vlak, dat met het oppervlak slechts één punt gemeen heeft. De straal, die dat punt met het middelpunt vereenigt, staat op dat vlak loodrecht.

Men kan een bol aanmerken als een *omwentelingslichaam*, beschreven door de wenteling van een halven (grooten) cirkel om zijne middellijn. Als as kan men elke middellijn des bols nemen.

§ 3.

Plaatsbepaling in een plat vlak en op het bolvormig oppervlak.

In het platte vlak bepaalt men de betrekkelijke ligging van verschillende punten, door eene willekeurige lijn XX' in dit vlak te trekken, en in die lijn een punt O aan te nemen. Laat men nu uit de punten A, B, C, D , die men bepalen wil, loodlijnen op XX' neder, dan is de ligging van elk dezer punten (b. v. A) bepaald, wanneer men weet hoever het voetpunt (M) van die loodlijn van O verwijderd is, en hoe lang die loodlijn



zelve is; mits men er bij wete of het voetpunt (M) rechts of links van O dus in de richting OX of OX' , ligt, en of de loodlijn boven of onder XX' staat.

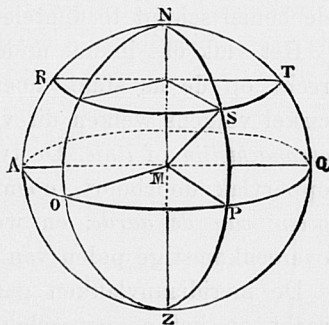
Op het oppervlak van een bol handelt men als volgt:

Men beschrijft den omtrek van een grooten cirkel AQ en bepaalt van dien cirkel de polen (N en Z).

Om nu de plaats van een punt S op het oppervlak van den bol te bepalen, brengt men door de as NZ en het punt S het vlak van den grooten cirkel NSZ .

Deze cirkel wordt door den cirkel APQ en de punten N en Z in 4 gelijke deelen verdeeld.

Om van het punt S de juiste plaats te kennen, moet men op den eerst aan-



genomen cirkel AQ weten de lengte van den boog OP , van het vast aan-

genomen punt O af tot het snijpunt der twee cirkels, dat het naast aan S ligt; en de grootte van den boog PS, dat is de afstand van het punt S tot den cirkelomtrek AOPQ; eindelijk ook nog of het punt P rechts of links van O, en het punt S onder of boven APQ ligt.

Men kan van beide bogen de grootte in graden enz. uitdrukken: en wanneer de lengte van den straal des bols gegeven is, kan men daaruit gemakkelijk de bogen in lengtemaat vinden.

Den eersten boog OP kan men tevens beschouwen als de maat van $\angle OMP$, dat is de hoek der vlakken NOZ en NSZ; de tweede boog PS is de maat van $\angle PMS$, dat is van den hoek, dien de lijn MS met het vlak APQ maakt.

De eerste boog geldt voor alle punten op den halven cirkelomtrek NSZ; de tweede heeft gelijke waarde voor alle punten van een kleinen cirkel TSR, welks vlak $\parallel$ AOQ loopt, en dien men daarom *parallelcirkel* kan noemen.

§ 4.

Plaatsbepaling van punten op den aardbol.

Gelijk wij later (Hoofdst. V.) zullen bespreken is de wenteling van den hemelbol slechts schijn. In werkelijkheid is het de aarde die om eene as draait, en blijkbaar valt de as, om welke de hemel schijnt te wentelen, samen met de as der aarde.

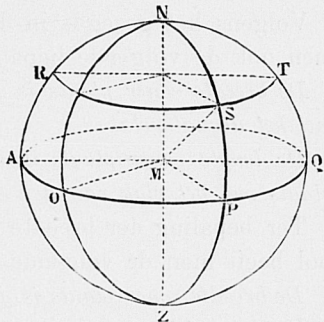
Het vlak dat in het middelpunt van aarde en hemelbol loodrecht op de as staat, noemt men het *aequatorvlak*. De groote cirkel volgens welken dit vlak den aardbol snijdt, heet *aequator*, *evenachtslijn* of *linie*. De twee punten, in welke de as het aardoppervlak doorboort, noemt men de *polen van den aequator*, of *polen van de aarde*, en wel *noordpool* en *zuidpool*, evenals de overeenkomstige polen van het hemelgewelf.

De meridiaanvlakken gaan door de as, en staan dus loodrecht op het aequatorvlak. Elke plaats op aarde heeft haar eigen meridiaanvlak; de groote cirkel, volgens welken dit vlak

het oppervlak van den aardbol snijdt, heet de *meridiaan* of *middaglijn* der plaats.

Voor elke plaats op aarde is de meridiaan noordelijk en zuidelijk gericht. De hemellichamen culmineeren in het meridiaanvlak der plaats. (I. i. o.).

Stelle nevensstaande figuur den aardbol voor; A Q zij de aequator, N de noordpool, Z de zuidpool, N Z de as, N S P Z de meridiaan der plaats S. Blijkens § 3 is nu de ligging van het punt S bepaald door de bogen O P en P S. P S, d. i. de in graden uitgedrukte afstand van het punt S tot den aequator, heet de *geographische breedte* van S; O P, d. i. de boogafstand van het doorsnijdingspunt P tot een op den aequator aangenomen punt O, heet zijne *geographische lengte*.



De *breedte* wordt geteld van den aequator tot elke pool, van 0° tot 90° , en wordt dus onderscheiden in *noorderbreedte* en *zuiderbreedte*.

De *lengte* wordt geteld op den aequator, van het punt O af, oostelijk en westelijk op van 0° tot 180° , of geheel om van 0° tot 360° in oostelijke richting.

Het beginpunt O der lengten is willekeurig. Gewoonlijk wordt dit punt bepaald door een of anderen *meridiaan* op aarde als *eersten* aan te nemen.

Daartoe neemt men tegenwoordig veelal dien van *Greenwich*, anders dien van *Parijs*, of den 20° westelijker liggenden zoogenaamden meridiaan van *Ferro*; vroeger veelal den meridiaan, gaande over de piek van *Teneriffe*. Ter herleiding heeft men:

$$\text{Greenwich} = 2^\circ 20' 23'' \text{ W. van Parijs.}$$

$$\text{Teneriffe} = 18^\circ 58' 59'' \text{ W. " " .}$$

Verscheidende volken gebruiken veelal als *eersten meridiaan* dien van de hoofdstad of de hoofdsternenwacht des rijks.

Het is gemakkelijk op de aardglobe breedte en lengte van daarop aange-
wezen plaatsen af te lezen. De breedte vindt men door de plaats op de
globe onder den koperen meridiaan te draaien en dezen als meridiaan
der plaats te beschouwen; de lengte door aflezing op den aequator, die
op de globe zelf is geteekend, en evenals de koperen meridiaan in
graden verdeeld is.

Volgens het gezegde in de beide laatste alinea's van § 3 kan
men ook de volgende bepalingen geven:

*De breedte eener plaats is de hoek van de verticaal van die plaats
met het aequatorvlak*

*De lengte eener plaats is de hoek van het meridiaanvlak van die
plaats met het vlak van den eersten meridiaan.*

Ter bepaling der breedte en lengte van plaatsen op den aard-
bol heeft men de volgende regels:

De breedte eener plaats is gelijk aan de poolhoogte van die plaats.

Door *poolhoogte* verstaat men den hoek, dien de gezichts-
straal, uit ons oog naar de pool gaande, met het horizontale
vlak maakt. Aan den aequator der aarde zijn breedte en pool-
hoogte beide = 0° , aan de pool der aarde beide = 90° , en
beide nemen gelijkmatig toe, als men van den aequator naar
de pool reist (I. u).

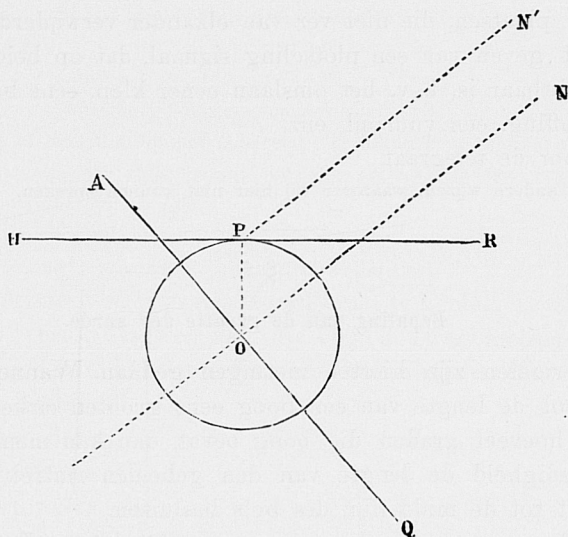
In de volgende figuur stelt P eene plaats op aarde voor; A Q en H R zijn
de doorsneden van het aequatorvlak en van het horizontale vlak der
plaats met het meridiaanvlak. O N is de as des hemels en P N' de rich-
ting van het punt P naar de pool des hemels.

Dus is de poolhoogte $\angle R P N'$,

de breedte $\angle A O P$.

Daar de afstanden op aarde te klein zijn om bij die van de vaste sterren
tot de aarde in aanmerking te komen (Hoofdst. I. § 5. 1), moet men
P N' || O N nemen, waaruit onmiddellijk volgt:

$$\angle A O P = \angle R P N', \text{ w. t. b. w.}$$



De poolshoogte kan men vinden door meting van de grootste en de kleinste hoogte eener circumpolaire ster, b. v. van de poolster; of op andere wijzen, die wij hier niet kunnen bespreken.

Het bepalen van de lengte eener plaats komt neer op het bepalen van het lengteverschil van die plaats en eene andere, welker lengte bekend is.

Het lengteverschil van twee plaatsen is evenredig met het tijdsverschil van die twee plaatsen:

Één uur tijdsverschil geeft $\frac{360^\circ}{24} = 15^\circ$ lengteverschil (I. v).

Het tijdsverschil en daardoor het lengteverschil van twee plaatsen kan men vinden:

- a. Door het overbrengen van zeer juiste uurwerken (chronometers).
- b. Door het gelijktijdig waarnemen van een zelfde hemelverschijnsel, zooals eene maaneclips, eene zoneclips of eene sterrebedekking door de maan (I. z, x).

- c. Bij plaatsen, die niet ver van elkander verwijderd zijn, door het geven van een plotseling signaal, dat op beide plaatsen zichtbaar is, b. v. het omslaan eener klep, eene buskruitontploffing, een vuurpijl, enz.
- d. Door de telegraaf.
- e. Op andere wijzen, waarover wij hier niet kunnen spreken.

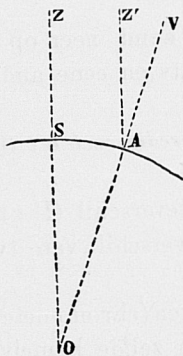
§ 5.

Bepaling van de grootte der aarde.

Meermalen zijn hiertoe metingen gedaan. Wanneer men bij een bol de lengte van een boog eens grooten cirkels kent, en weet hoeveel graden die boog bevat, dan kan men door eene evenredigheid de lengte van den geheelen omtrek vinden, en hieruit tot de middellijn des bols besluiten.

Liefst neemt men hiertoe een *meridiaanboog*. Daarbij heeft men het voordeel, dat het aantal graden van den boog gelijk is aan het verschil der breedten van de beide uiteinden.

De oudste bekende poging van dien aard deed ERATOSTHENES van Cyrene, omstreeks 200 jaar v. Chr.



Hij wist dat de zon te *Syene* in Opper-Egypte op den middag van den langsten dag een diepen verticalen put tot op den bodem bescheen, zoodat aldaar op dat oogenblik hare stralen loodrecht op den grond vielen. In de onderstelling nu dat *Syene* met *Alexandrië* in Neder-Egypte in denzelfden meridiaan lag, nam hij den hoek waar, dien op datzelfde oogenblik de richting der zonnestrallen te A. met de loodlijn maakte, en besloot daaruit tot het aantal graden van den meridiaanboog, tusschen S. en A. begrepen. Laat in nevenstaande fig. S. *Syene*, A. *Alexandrië* voorstellen, en dus A S

den meridiaanboog, die beide verbindt. Z S en Z' A stellen de onderling evenwijdige richtingen voor der zonnestrallen op den bedoelden middag.

ERATOSTHENES vond nu met behulp der schaduw:

$$\angle Z' A V = 7^{\circ} 12';$$

$$\text{dus ook } \angle S O A = 7^{\circ} 12';$$

$$\text{dus boog } SA = \frac{1}{50} \text{ omtrek cirkel } O S.$$

Daar nu de afstand SA op het oppervlak der aarde door meting op 5000 stadiën bepaald was, zoo volgt hieruit voor den omtrek van een grooten cirkel des aardbols 250 000 stadiën.

Ofschoon, om verschillende redenen, deze uitkomst voor ons weinig waarde heeft, is het beginsel, waar an E. uitging, alleszins juist.

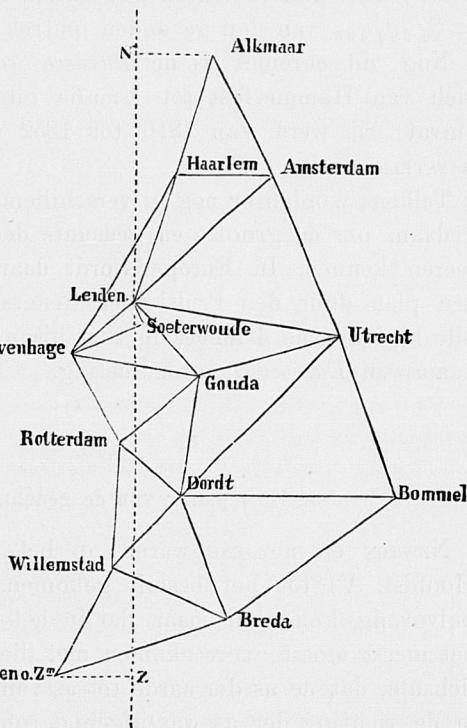
Onze landgenoot w. SNELLIUS, Hoogleeraar te Leiden, wees in het begin der 17^e eeuw den weg aan, die bij al de latere metingen gevolgd is. Hij bepaalde door meting en berekening den afstand van Leiden tot Soeterwoude, en nam deze lijn aan tot basis van een driehoek, welks zijden weder grondlijnen van andere driehoeken werden.

Door het hiernevens geschetste net van driehoeken verkreeg hij eindelijk den afstand van N. 's Gravenhage tot Z. tusschen Alkmaar, en Bergen-op-Zoom.

Bij zulk eene meting is het volstrekt noodig, van ten minste eene der driehoekszijden den hoek te meten met den meridiaan. B. v.

$$\angle Z L(eiden), G(ouda).$$

Kende men dezen niet,



dan zou men wel den afstand tusschen A(lkmaar) en B(ergen-op-Zoom) kunnen berekenen, maar nog niet hebben, waar het eigenlijk op aankomt, den op den meridiaan gemeten afstand $\overline{NZ}$ tusschen de parallelcirkels van die beide plaatsen.

Bijzondere vermelding verdient de *Fransche* meting van Duinkerken tot Barcelona, in 1792 begonnen door DELAMBRE en MECHAIN, in 1806 tot op het eiland Formentera voortgezet door BIOT en ARAGO, en in 1821 tot Greenwich in Engeland door ARAGO, KATER e. a.. Deze meting omvat een meridiaanboog van $12^{\circ} 48'$ ruim. Zij diende hoofdzakelijk ter bepaling van den *Meter* (Ned. El), die de grondslag is van het zoogenaamde *metrieke stelsel* van maten en gewichten. De meter werd genomen $= \frac{1}{40\,000\,000}$ van den gevonden omtrek des aardmeridiaans.

Nog uitgebreider is de *Russisch-Scandinavische* meting, die zich van Hammerfest tot Ismaïla uitstrekt, en meer dan 25° omvat; zij werd van 1816 tot 1852 uitgevoerd door STRUVE, HANSTEEN e. a.

Telkens worden er nog in verschillende landen graadmetingen gedaan, om de grootte en gedaante der aarde steeds juist te leeren kennen. In Europa wordt daartoe tegenwoordig, naar een plan door den Pruisischen Generaal BAEYER ontworpen, in alle landen eene driehoeksmeting uitgevoerd, bekend onder den naam van *Europeesche* graadmeting.

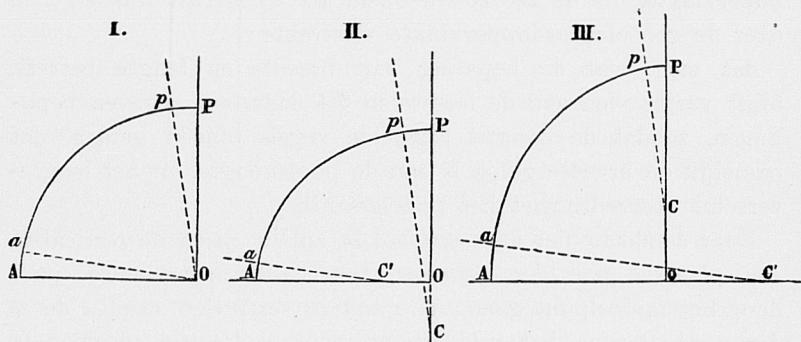
§ 6.

Nadere bepaling van de gedaante der aarde.

NEWTON en HUYGENS waren op het einde der 17^e eeuw (zie Hoofdst. V) tot het besluit gekomen, dat de aarde niet juist bolvormig kon zijn, maar dat in het algemeen hare gedaante het meest moest overeenkomen met die van een omwentelings-lichaam, dat de as der aarde tot as van omwenteling had, maar in de richting der as was afgeplat (omwentelings-ellipsoïde of

spheroïde). Daar de waarheid hiervan door sommige geleerden, ook door leden der Fransche „Académie des Sciences” werd betwijfeld, werd aan BOUGUER en LA CONDAMINE opgedragen, in *Peru*, en aan MAUPERTUIS, in *Lapland* eene graadmeting te bewerkstelligen. Deze metingen werden in de jaren 1735—44 uitgevoerd, en bewezen de afgeplatte gedaante der aarde.

Deze afplatting bedraagt ongeveer $\frac{1}{300}$, dat wil zeggen, dat de lengte der as tot die van eene middellijn van den aequator staat = 299 : 300.



Om op te helderen hoe het mogelijk is uit de metingen tot de gedaante der aarde te besluiten, dienen bovenstaande figuren I, II, III. In elke dezer beteekent O P de as, O A den aequator, P de pool. I. is opgemaakt in de onderstelling dat de aarde volmaakt bolrond, II. dat zij aan de pool afgeplat, III. dat zij aldaar uitgezet is. Laat nu in elke figuur p C en a C' loodrecht op de kromme staan, en wel zoodanig dat overal $\angle p C P = \angle a C' A = \text{bv. } 1^\circ$ is, dan blijkt uit den vorm der figuren dat, wat de lengte der bogen betreft,

in I. boog P p = boog A a,

in II. boog P p > boog A a,

in III. boog P p < boog A a

zal worden, en dat deze verkleining of vergrooting der bogen allengs zal plaats vinden, als men, van P naar A gaande, telkens de loodlijn trekt, die met de vorige een gelijken hoek maakt. Verplaatste men zich dus langs een meridiaanboog van de pool naar den aequator, en bemerkte men daarbij,

dat de bogen, die men had af te leggen, om telkens de breedte met een gelijk bedrag (1° bv.) te zien verminderen, steeds in lengte afnemen, dan zou daaruit volgen, dat de aarde aan de pool afgeplat was (II); namen deze bogen in lengte steeds toe, dan zou daaruit blijken, dat de aarde aan de pool uitgezet moest wezen (III). De werkelijke vorm der meridiaandoorsnede wordt door II, ofschoon zeer overdreven, aangewezen.

Om verder alle verwarring van begrippen te voorkomen, heeft men vastgesteld:

dat door den vorm der aarde te verstaan is de gemiddelde oppervlakte, die de zee zou hebben, als zij in rust was en zich over de geheele aardoppervlakte uitstreckte;

dat men, wat de bepaling van breedte en lengte betreft, blijft vasthouden aan de laatste in § 4 daarvoor gegeven bepalingen, zoodat de daaruit afgeleide regels blijven gelden, dat namelijk de breedte gelijk is aan de poolhoogte, en het lengteverschil evenredig met het tijdsverschil.

Daar de aarde niet juist een bol is, zullen alleen de verticalen, van plaatsen aan den evenaar, naar beneden verlengd, juist door het middelpunt gaan. Alle andere verticalen snijden de as der aarde buiten het middelpunt, en wel die van plaatsen in het noordelijk halfronde bezuiden, van zuidelijke plaatsen benoorden het middelpunt.

Niettegenstaande de afplatting der aarde aan de polen, kan men de aarde zonder groote onnauwkeurigheid door eene bolvormige aardglobe voorstellen; want bv. bij een bol van 12 decim. middellijn, zou de som der afplattingen aan beide polen slechts 4 millim. bedragen.

Wat betreft de bergen en dalen, die men op de aarde vindt, hunne hoogten en diepten zijn, hoe aanzienlijk ook op zich zelf, in betrekking tot de grootte der aarde zeer gering, daar de grootste hoogte niet ten volle 9000 meter is; zoodat, op de zoo even bedoelde aardglobe, de hoogste berg minder dan 1 millim. hoog zou moeten zijn.

DERDE HOOFDSTUK.

PLAATSBEPALING OP DEN HEMELBOL.

§ 1.

Inleiding.

In hoofdst. I hebben wij gezegd, dat de sterrenhemel zich als een hol boloppervlak vertoont, terwijl de afstanden op aarde, hoe groot ook op zich zelve, niet in aanmerking komen, wanneer zij vergeleken worden bij den zooveel grooteren afstand van de vaste sterren tot ons. Hierom begaat men geene merkbare fout door de volgende punten vast te stellen:

- a. De hemelbol heeft het middelpunt der aarde tot middelpunt.
- b. De richtingen, waarin men uit het middelpunt der aarde, en uit verschillende punten op het aardoppervlak, naar eene zelfde ster ziet, loopen onderling evenwijdig.
- c. Met betrekking tot den sterrenhemel maakt het geen onderscheid, of men tot horizontaal vlak eener plaats op aarde het raakvlak in dat punt aan den aardbol neemt, dan wel het daaraan evenwijdige vlak dat door het middelpunt van aard- en hemelbol gaat. Het laatste vlak heet *de ware horizon*, het raakvlak de *schijnbare horizon* der plaats.

Den hemelbol stelt men voor door eene *hemelglobe*. Daarbij moet men zich in gedachte altijd in het middelpunt der globe verplaatsen.

De plaatsbepaling op den hemelbol geschiedt op dezelfde wijze als wij in Hoofdstuk II. § 3. voor het bolvormig oppervlak in het algemeen hebben uitgelegd. Als voornamen grooten cirkel kan men daarbij gebruiken:

- a. Den *aequator* of de evenachtslijn op den hemelbol, zijnde den grooten cirkel, welks vlak loodrecht op de as des hemels staat.
- b. De *ecliptica* of zonsweg, zijnde den grooten cirkel, dien de zon jaarlijks tusschen de sterren schijnt te doorloopen (I. t).
- c. Den *waren horizon* eener plaats op aarde.

Deze laatste wijze van plaatsbepaling op den hemelbol zullen wij in een volgend hoofdstuk behandelen; wij bepalen ons hier bij de beide eerste.

§ 2.

Plaatsbepaling door middel van den *aequator*.

De *aequator* en de *ecliptica* snijden elkaar op den hemelbol in twee juist tegenovergestelde punten, die men *nachteveningspunten* (*aequinoclia*) noemt, omdat over de geheele aarde dag en nacht even lang zijn, als de zon zich in een dezer beide punten bevindt. In het eene punt is de zon omstreeks 21 Maart, in het andere omstreeks 23 Sept.; het eerste punt noemt men *voorjaars-*, het tweede *najaars-nachteveningspunt* (lentepunt of lentesnede, herfstpunt of herfstsnode).

Van Maart tot September bevindt zich de zon benoorden, van September tot Maart bezuiden den *aequator*.

De loodrechte boogafstand van eene ster tot den *aequator* heet *declinatie* of *afwijking*. Deze wordt gemeten op den *declinatiecirkel* der ster, d. i. op den grooten cirkel, die door de ster gaat, en tevens door de polen des hemels. Men telt de *declinatie* van den *aequator* af noordwaarts en zuidwaarts van 0° tot 90°.

Tot beginpunt van telling op den aequator neemt men het voorjaars-nachteveningspunt, en de boogafstand van dit punt tot den declinatiecirkel eener ster heet *de rechte klimming* van die ster; deze wordt van 0° tot 360° geteld in de richting, die de zon volgt bij hare jaarlijksche beweging tusschen de sterren, en dus tegengesteld aan de dagelijksche beweging van den hemel.

De rechte klimming eener ster kan men ook bepalen als zijnde den hoek, dien de declinatiecirkel van die ster, om de as des hemels als omwentelingsas, in den zin der dagelijksche beweging zou moeten doorloopen, om met den declinatiecirkel van het voorjaars-nachteveningspunt samen te vallen.

Op de hemelglobe worden R. kl. en decl. op dezelfde wijze afgelezen als geogr. lengte en breedte op de aardglobe (II § 4).

Ter bepaling van de declinatie eener vaste ster behoeft men, behalve de poolhoogte der waarnemingsplaats, slechts de helling te weten, die een kijker moet hebben om juist op de ster gericht te wezen, als deze door het meridiaanvlak gaat.

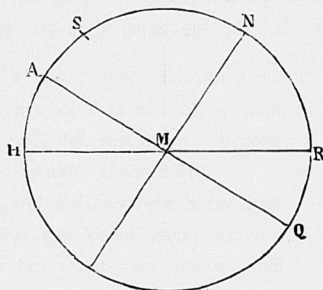
Uit nevensstaande figuur blijkt, hoe de declinatie eener ster onmiddellijk te vinden is uit hare hoogte boven den horizon, bij het gaan door het meridiaanvlak, wanneer tevens de poolhoogte = geogr. breedte der plaats bekend is.

A Q, Aequator,

H R, Horizon,

N R, Poolhoogte = geogr. breedte.

Declinatie der ster S, $AS = HS - HA = HS - (90^\circ - NR)$.



Om de *helling*, waarop het hier aankomt, te bepalen, heeft men een kijker, die zich om eene spil zoodanig kan bewegen, dat hij altijd in het meridiaanvlak blijft; loodrecht op de spil is een cirkel met zuiver verdeelden rand bevestigd, waarop men de helling kan aflezen. Zulk een instrument heet *meridiaancirkel*.

Omdat verder de sterrenhemel juist in 24^u sterrentijd eene ge-

heele omwenteling schijnt te volbrengen, en dit met eenparige snelheid geschiedt, zoo zal men *het verschil der rechte klimmingen* van twee sterren kunnen bepalen door den tijd, die er verloopt tusschen de oogenblikken, dat beide sterren het meridiaanvlak passeeren; hier is weder

$$1^u \text{ verschil in tijd} = \frac{360^\circ}{24} = 15^\circ \text{ verschil in R. kl.}$$

Men heeft dus ter bepaling der R. kl. noodig een zeer goed *uurwerk*, dat *sterrentijd* aanwijst, d. w. z. dat 24 uren aangeeft voor den tijd, dien de sterrenhemel noodig heeft, om juist eene omwenteling te volbrengen; en een zeer goeden kijker, die zich om eene spil zoodanig kan bewegen, dat hij altijd in het meridiaanvlak blijft, en daarom *meridiaankijker* heet. Men kan natuurlijk den meridiaancirkel ook als meridiaankijker gebruiken.

Wanneer men nu van verscheidene sterren de verschillen in R. kl. weet, kan men van elk van deze op zich zelve de R. kl. vinden, mits die van ééne dezer bekend wordt; de rechte klimming eener ster nu is het verschil in R. kl., dat de ster heeft met de zon, op het oogenblik, dat de laatste eene declinatie van 0° heeft, en zich dus in een der nachteveningspunten bevindt.

Door gedurende vele jaren telkens het juiste oogenblik waar te nemen, waarop de zon zich in een zelfde nachteveningspunt bevindt, heeft men voor de *lengte van het jaar* (tropisch jaar) gevonden:

$$365,242264 \text{ zonnedagen} = 366,242264 \text{ sterrendagen.}$$

Een ieder weet dat het burgerlijke jaar 365 dagen heeft, maar dat men schrikkeljaren heeft van 366 dagen, om de burgerlijke tijdrekening telkens weder met den stand der zon in overeenstemming te brengen. De Gregoriaansche tijdrekening neemt op 400 jaren 97 schrikkeljaren aan; hierdoor komt het Gregor. jaar gemiddeld op 365,2425 dagen.

Den sterrendag rekt men te beginnen, telkens als het voorjaars-nachteveningspunt culmineert. De rechte klimming van elke ster wordt dan rechtstreeks aangewezen door den sterrentijd bij hare culminatie.

De punten, die met de nachteveningspunten de ecliptica in 4 gelijke deelen verdeelen, noemt men *zonnestandspunten* (*solstitia*).

In het noordelijke of zomerpunt bevindt zich de zon omstreeks 21 Juni, in het andere omstreeks 21 Dec..

De declinatiecirkels, die elk door 2 van deze 4 punten van de ecliptica gaan, noemt men *coluren*; en wel den eenen *coluur der nachteveningen*, den anderen *coluur der zonnestanden*.

De hoek, dien de vlakken van ecliptica en aequator te zamen maken, bedraagt omstreeks $23\frac{1}{2}^{\circ}$. Dus is van de Zon

omstreeks 21 Maart	de decl.	= 0°	, de R. kl.	= 0° ;
" 21 Juni	" "	= $23\frac{1}{2}^{\circ}$ N.,	" "	= 90° ;
" 23 Sept.	" "	= 0°	, " "	= 180° ;
" 21 Dec.	" "	= $23\frac{1}{2}^{\circ}$ Z.,	" "	= 270° ;

De *polen der ecliptica* liggen in de coluur der zonnestanden op $23\frac{1}{2}^{\circ}$ afstand van de gelijknamige polen des hemels; de N. Pool der ecliptica tusschen de N. Pool des hemels en het winterpunt, de Z. Pool der ecliptica tusschen de Z. Pool des hemels en het zomerpunt.

Bij de schijnbare dagelijksche beweging des hemels doorloopen de nachteveningspunten den aequator, de zonnestandspunten kleine cirkels, die *keerkringen* heeten, en de polen der ecliptica kleine cirkels, die men *poolcirkels* noemt. Men onderscheidt *noorder-keerkring* of *keerkring van den Kreeft*, en *zuider-keerkring* of *keerkring van den Steenbok*; *noorder-poolcirkel* en *zuider-poolcirkel*.

Elk punt in een der keerkringen heeft eene declinatie van $23\frac{1}{2}^{\circ}$; in een der poolcirkels van $90^{\circ} - 23\frac{1}{2}^{\circ} = 66\frac{1}{2}^{\circ}$.

§ 3.

Plaatsbepaling door middel der ecliptica.

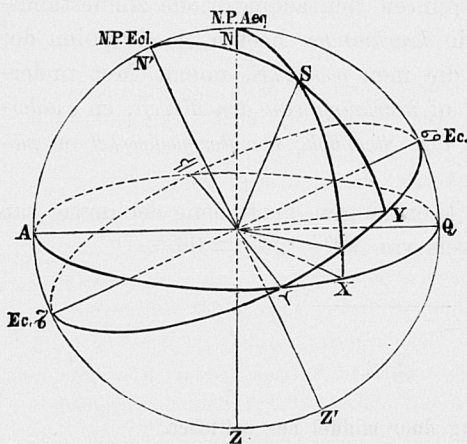
Den boogafstand van eene ster tot de ecliptica noemt men de sterrenkundige *breedte* der ster, welke van de ecliptica af noord-

waarts en zuidwaarts op wordt geteld van 0° tot 90° . De groote cirkels, die door de polen der ecliptica gaan, noemt men daarom *breedtecirkels*.

Het beginpunt van telling op de ecliptica is het voorjaars-nachteveningspunt; den boogafstand van dit punt tot den breedtecirkel eener ster noemt men hare sterrenkundige *lengte*, en men telt deze in denzelfden zin als de rechte klimming, en mede van 0° tot 360° . De lengte eener ster kan men dus ook bepalen als den hoek, dien de breedtecirkel der ster met den breedtecirkel van het voorjaars-nachteveningspunt maakt.

Natuurlijk moet men deze sterrenkundige lengte en breedte niet verwarren met de geogr. lengte en breedte op aarde (Hoodst. II), welke laatste grootheden veeleer met rechte klimming en declinatie overeenkomen.

Met behulp der bolvormige driehoeksmeting kan lengte en breedte eener ster berekend worden. als R. kl. en declin. bekend zijn, en omgekeerd.



Ter opheldering van een en ander diene nevensstaande figuur.

A Q is de aequator, N en Z zijne polen.

Ec. Ec. de ecliptica met hare polen N' en Z'.

A N' N E Q Z' Z E is de coëlur der zonnestanden.

♈ Aries, het voorjaars-nachteveningspunt.

NSX de declinatiecirkel eener ster S.

N'S Y de breedtecirkel dezer ster S.

♊ X de rechte klimming, XS de declinatie van S.

♊ Y de lengte, YS de breedte van S.

Voor iemand, die met bolvormige-driehoeksmeting bekend is, zal het nu licht zijn $\triangle N'SN$ op te lossen; zijnde $N'N = \odot Q = 23\frac{1}{2}^\circ$.

Op de hemelglobe kan men lengte en breedte van sterren vinden, door de globe zoodanig te draaien, dat de coluur der zonnestanden met den koperen declinatiecirkel samenvalt, en aan dezen in het punt, waar zich de pool der ecliptica bevindt, een koperen band vast te schroeven, die dan als beweegbaren breedtecirkel dient.

Men is gewoon de ecliptica in 12 bogen van 30° te verdeelen, *teekens* geheeten, die bijzondere namen dragen, ontleend aan 12 sterrenbeelden, waartoe men van oudsher die sterren heeft gebracht, welke zich omstreeks de ecliptica bevinden. De teekens nemen echter op de ecliptica eene andere plaats in dan de sterrenbeelden; hierop komen wij in § 4 terug.

De 12 hemelteekens zijn, met hun Latijnsche en Nederlandsche namen:

Noordelijke klimmende teekens.	{	γ Aries, Ram, aanvangende bij het voorjaars-nacht-	
		τ Taurus, Stier.	eveningspunt.
		Π Gemini, Tweelingen.	
Noordelijke dalende teekens.	{	$\odot$ Cancer, Kreeft, bij het zomer-zonnestandspunt.	
		$\mathcal{Q}$ Leo, Leeuw.	
		M Virgo, Maagd.	
Zuidelijke klimmende teekens.	{	♎ Libra, Weegschaal, bij het najaars-nachtevenings-	
		♏ Scorpio, Schorpioen.	punt.
		$\rightarrow$ Sagittarius, Schutter.	
Zuidelijke dalende teekens.	{	♐ Capricornus, Steenbok, bij het winter-zonnestandspunt.	
		♑ Aquarius, Waterman.	punt.
		♒ Pisces, Visschen.	

Teruggang der nachteveningen.

Wanneer op de bovenvermelde wijze van vele sterren R. kl. en declin. bepaald, en daaruit de sterrenkundige lengte en breedte afgeleid zijn, en deze zelfde metingen en berekeningen na verloop van tijd weder herhaald worden, dan blijkt het, dat deze grootheden niet onveranderlijk dezelfde zijn gebleven. Dit bemerkte reeds HIPPARCHUS, de grootste sterrenkundige der oudheid, die omstreeks 120 jaar v. Christus op Rhodus leefde.

Hoofdzakelijk vindt men bij zulke vergelijking van waarnemingen uit vroeger tijd met latere, dat de vaste sterren onderling denzelfden stand behouden hebben, dat de sterrenkundige breedten niet veranderd zijn, dat de lengten allen met eene gelijke waarde vermeerderd zijn, terwijl de rechte klimmingen en de declinatiën schijnbaar meer onregelmatig zijn veranderd.

Brengt men deze veranderingen terug tot den stand van ecliptica en aequator tusschen de sterren, dan blijkt het, dat het vlak der ecliptica zijne plaats tusschen de sterren heeft behouden, maar de aequator zich verplaatst heeft, zoodat de punten der nachteveningen langs de ecliptica zijn verschoven in eene richting tegengesteld aan die, waarin de lengte en rechte klimming worden geteld.

Tusschen de sterren zullen dus de polen der ecliptica hun stand behouden hebben, maar de polen des aequators of des hemels zullen zich om die der ecliptica schijnen te bewegen. Daar men kan aannemen, dat de helling der beide vlakken en dus de afstand hunner polen niet veranderd is, zoo zal elke pool des aequators om de gelijknamige pool der ecliptica aan den sterrenhemel een kleinen cirkel schijnen te beschrijven.

Deze beweging is uiterst langzaam; de sterrenkundige lengten groeien elk jaar met 50" aan, en de nacht-eveningspunten

zullen zich dus in omstreeks 26000 jaar over den geheelen omtrek der ecliptica schijnen te verplaatsen.

Daar deze beweging geschiedt in tegengestelden zin, als waarin de lengte wordt geteld, spreekt men van *teruggang der nachteveningen*; daar zij evenwel in denzelfden zin plaats heeft als de dagelijksche beweging van den sterrenhemel, zou men evengoed van vooruitgang kunnen spreken, en in dien zin is ook de voor deze zaak gebruikelijke term, *praecessie*, gekozen.

In den tijd toen de sterrenbeelden de namen ontvingen, die zij grootendeels nog tegenwoordig hebben, bepaalde men de plaats der zon door te zeggen, dat zij in dit of dat sterrenbeeld was gekomen. Later teekende men ter juister bepaling van de plaats der zon, op de ecliptica 12 bogen, elk van 30° , af en gaf aan elken boog den naam van het overeenkomstige sterrenbeeld; op deze wijze kwam bij het voorjaars-nachteveningspunt het teeken γ te staan, omdat de zon omstreeks de voorjaarsnachtevening werkelijk in het sterrenbeeld de Ram kwam.

Thans bevindt zich, door den teruggang van de nachteveningen, het voorjaars-nachteveningspunt in het sterrenbeeld der visschen; nogtans blijft men den eersten boog van 30° op de ecliptica het *teeken van den Ram* noemen. Hemelteekens en sterrenbeelden komen dus nu niet meer met elkaar overeen, zooals reeds in § 3 van dit hoofdstuk werd gezegd.

De as des hemels verandert ten opzichte van onze aarde niet van stand; de polen der aarde blijven onveranderlijk dezelfde, en dus ook de geogr. lengte en breedte van de verschillende plaatsen op aarde.

VIERDE HOOFDSTUK.

PLAATSBEPALING OP DEN HEMELBOL (VERVOLG). — STAND VAN DEN
STERRENHEMEL VOOR VERSCHILLENDE PLAATSEN OP AARDE.

§ 1.

Uurcirkel en uurhoek.

In Hoofdst. III hebben wij gesproken over de plaatsbepaling op den hemelbol. Wij hebben de onderlinge ligging der hemellichamen daarop leeren bepalen, door hun stand te vinden ten opzichte van cirkels, die men zich op den hemelbol voorstelt, namelijk den aequator en de ecliptica.

Wil men nu nagaan, welken stand de sterrenhemel zal hebben, gezien uit eene of andere waarnemingsplaats op aarde, dan moet men in aanmerking nemen:

- 1°. dat deze stand door de voortgezette beweging elk oogeblik verandert;
- 2°. dat door elke plaats op aarde twee vlakken bepaald zijn, namelijk het vlak van den meridiaan en het vlak van den waren horizon der plaats.

Het meridiaanvlak staat loodrecht op het horizontale vlak en snijdt het volgens eene lijn, die door het N. en Z. punt gaat; het snijdt den hemelbol volgens een grooten cirkel, die

de polen des hemels bevat en waarin zich achtereenvolgens elke ster bevindt, op het oogenblik dat zij culmineert; alsdan valt het declinatievlak der ster met het meridiaanvlak samen.

De declinatiecirkels noemt men ook *uurcirkels*, en den veranderlijken hoek, dien zij met het meridiaanvlak maken, *uurhoek*. De plaats eener ster kan dus, in plaats van door declinatie en R. kl., ook bepaald worden door declinatie en uurhoek; — men rekent den uurhoek van het Z. door het W., van 0° tot 360° ; en uit de grootte van den uurhoek eener ster op een gegeven oogenblik kan men dus dadelijk opmaken, hoeveel uur geleden de culminatie plaats had.

Voor eene circumpolairster bedraagt de uurhoek bij de bovenste culminatie 0° , bij de onderste, als zij nam. tusschen de noordpool en het noordpunt van den horizon door den meridiaan gaat, 180° .

§ 2.

Plaatsbepaling door middel van den waren horizon.

De as van den horizon is de verticaal der plaats; de polen noemt men *toppunt* of *zenith* en *voetpunt* of *nadir*. Den boogafstand eener ster boven den horizon noemt men de *hoogte* der ster, en de groote cirkels, waarop deze hoogten worden gemeten en die dus door toppunt en voetpunt gaan, heeten *hoogtecirkels* of *verticalen*.

Het *azimuth* eener ster is de boogafstand van haar hoogtecirkel bewesten het zuiden, gemeten op den horizon; of, met andere woorden, de hoek, dien het verticaalvlak der ster met het meridiaanvlak maakt.

Wij behoeven nauwelijks te herinneren, dat hoogte en azimuth van een hemellichaam steeds veranderen, tengevolge van de voortdurende wenteling van den sterrenhemel. Voor elken stand der ster zal men ze kun-

nen meten met een zoogenaamd *hoogte- en azimuth-instrument*, zijnde een werktuig, voorzien van een kijker, die loodrecht op eene waterpas liggende as is aangebracht, en dus bij draaiing dier as een verticaal vlak beschrijft. Die as is loodrecht op eene verticale as, zoodat men door beweging om deze laatste het vlak, waarin de kijker zich beweegt, met elk vertikaalvlak kan doen samenvallen; terwijl men door eene beweging om de horizontale as aan den kijker eene willekeurige helling kan geven. Loodrecht op beide assen zijn verdeelde cirkelranden aangebracht, waarop men de verlangde hoeken kan aflezen.

In plaats van azimuth, geeft men, vooral waar eene ruwe schatting voldoende is, dikwijls slechts de *kompassstreek* aan, waarheen het verticale vlak gericht is.

Eene *hemelglobe* zal men zoodanig kunnen stellen, dat zij voor eene bepaalde plaats op aarde den juisten stand van den sterrenhemel op een bepaald oogenblik voorstelt. Aan het vaste voetstuk der globe bevindt zich een houten rand, waarvan het bovenvlak als ware horizon dient. Men zal dus eerst den koperen declinatiecirkel zoodanig moeten plaatsen, dat hij als meridiaan dient en dus zijn vlak N. en Z. gericht is, en vervolgens de poolhoogte gelijk de breedte der plaats moeten maken.

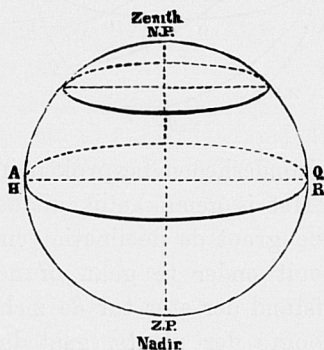
Op den houten horizon staat gewoonlijk de lengte der zon voor elken dag van het jaar opgeteekend; met behulp hiervan kan men op de globe de plaats vinden, die de zon op dien dag in de ecliptica inneemt; en door de globe zoodanig te draaien, dat dit punt zich in het zuiden onder den koperen mediaan bevindt, heeft de globe den stand, dien de sterrenhemel heeft op den middag van den bedoelden dag. Met behulp van de graadverdeling op den aequator of van het koperen uircirkeltje zal men nu de beweging van den hemel kunnen volgen en aan de globe een stand geven, overeenkomende met een willekeurig aangenomen oogenblik van dag of nacht.

In zulk een bepaalden stand der globe zal men van elke ster hoogte en azimuth kunnen meten, door den koperen band, die ons in Hoofdstuk III § 3 als beweegbare breedtecirkel diende, nu als beweegbaren verticaal te gebruiken. Het zal nu gemakkelijk zijn na te gaan, welke sterren op dat oogenblik zichtbaar zijn en welken stand elke dezer aan den hemel heeft; hoe laat de zon of eenige ster zal opkomen of ondergaan; in welke punten van den horizon dit geschieden zal; enz.

§ 3.

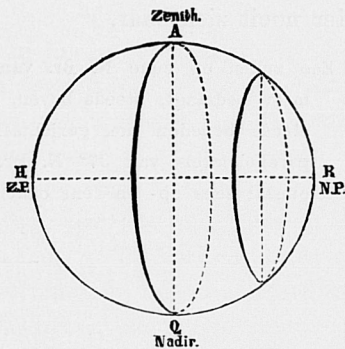
Standen van den sterrenhemel voor verschillende plaatsen op aarde.

- a. *Aan elke der polen van de aarde valt de gelijknamige pool des hemels met het zenith, de aequator met den waren horizon samen; de gelijknamige helft van den sterrenhemel is steeds boven, de andere onder den horizon. Alle sterren bewegen zich evenwijdig aan den horizon. Dit noemt men den evenwijdigen stand.*



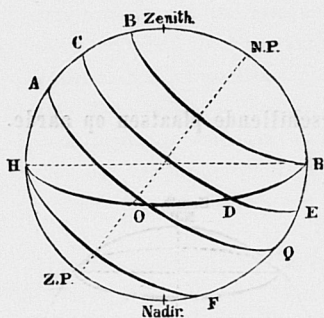
- b. *In eenig punt van den aardschen aequator.*

De polen des hemels liggen in den horizon; de aequator des hemels gaat door het top-punt en wordt, even als de daaraan evenwijdige cirkels, waarin de sterren zich schijnen te bewegen, door den horizon, waarop zij allen loodrecht staan, middendoor gedeeld. Men ziet dus achtereenvolgens alle sterren; elke ster is 12^u boven en even lang onder den horizon. Dit is de *loodrechte stand*.



- c. *Ergens tusschen den aequator en de polen.*

De poolhoogte is gelijk aan de breedte der plaats; de aequator en de schijnbare loopbanen der sterren hebben een



schuinen stand ten opzichte van den horizon. Sterren nabij de zichtbare hemelpool blijven steeds boven den horizon, anderen komen nooit op; de overigen zijn langer of korter zichtbaar. Dit is de *schuine stand*.

Omdat deze stand onder anderen ook in Nederland plaats heeft, hebben wij dien reeds eenigszins in

bijzonderheden besproken in Hoofdst. I.

Het is gemakkelijk uit de breedte eener plaats op te maken, hoe groot de declinatie eener ster moet zijn, om op die plaats nooit onder te gaan of nooit op te komen. Als namelijk de afstand der ster tot de zichtbare pool kleiner is dan de poolshoogte der plaats, gaat de ster nooit onder; is de afstand tot de onzichtbare pool kleiner dan de poolshoogte, dan wordt de ster nooit zichtbaar.

Zoo zullen op eene N. Br. van 53° alle sterren, welker N. Decl. 37° of meer bedraagt, steeds boven, die, welker Z. Decl. 37° of meer belooft, steeds beneden den gezichtseinder blijven; de sterren, die tusschen de parallelcirkels van 37° N. Br. en 37° Z. Br. begrepen zijn, zullen elk etmaal eens op- en eens ondergaan.

§ 4.

Stand der zon voor verschillende plaatsen op aarde. Luchtstreken.

Van de zon is de declinatie veranderlijk; van 21 Maart tot 23 Sept. noordelijk, van 23 Sept. tot 21 Maart zuidelijk. Aan de noordpool is het dus een half jaar dag, namelijk van 21 Maart

tot 23 Sept.; het andere half jaar nacht. *Aan de zuidpool* duurt de dag van 23 September tot 21 Maart; het andere half jaar is het er nacht. De zon bereikt hare grootste middaghoogte, nam. van $23\frac{1}{2}^{\circ}$ aan de noordpool den 21 Juni, aan de zuidpool den 21 December.

Voor plaatsen, niet te ver van eene der polen gelegen, zal de zon mede gedurende een gedeelte van het jaar niet opkomen, een gedeelte van het jaar niet ondergaan. Om de uiterste punten te vinden, waar zulks plaats heeft, bedenke men, dat, van alle punten der ecliptica, het winter-zonnestandpunt de grootste zuidelijke declinatie heeft, namelijk $23\frac{1}{2}^{\circ}$. Op dien afstand van de noordpool, d.i. op $66\frac{1}{2}^{\circ}$ N. Br., zal dus dit punt nooit boven den horizon komen, en dus zal er daar in Dec. een dag zijn, dat de zon niet opkomt, in Juni een nacht, dat zij niet ondergaat. De plaats van al die punten op aarde is een parallelcirkel, die in stand geheel overeenkomt met den noorder-poolcirkel op den hemelbol en daarom ook *noorder-poolcirkel* heet.

Evenzoo is de *zuider-poolcirkel* op aarde een parallelcirkel op $66\frac{1}{2}^{\circ}$ Z. Br., bevattende alle plaatsen, voor welke in Dec. de zon eenmaal niet ondergaat en in Juni eenmaal niet opkomt.

In een punt van den aardschen aequator worden de in elk etmaal door de zon doorloopen cirkels door den horizon middendoor gedeeld; dus zal elke dag daar 12^{u} lang zijn, en zoo ook elke nacht. In het zomerhalfjaar is de declinatie der zon noordelijk, dus zal de zon er des middags benoorden het toppunt staan, zoodat dan alle schaduwen naar het zuiden gekeerd zijn. Van Sept. tot Maart zijn de schaduwen er des middags noordwaarts gericht.

In die dagen van Maart en Sept., dat de zon zich juist in een der nachteveningspunten bevindt, gaat zij des middags door het toppunt van elke plaats onder den aequator.

Op plaatsen, niet te ver van den aequator verwijderd, zal

men de zon ook in het toppunt kunnen hebben, en wel des middags op de dagen, dat de declinatie der zon gelijk aan en gelijknamig met de breedte der plaats is. De uiterste grenzen, waar dit geschieden kan, zijn de parallelcirkels op $23\frac{1}{2}^{\circ}$ N. Br., waar de zon omstreeks 21 Juni, en op $23\frac{1}{2}^{\circ}$ Z. Br., waar de zon omstreeks 21 Dec. door het toppunt zal gaan. In overeenstemming met de gelijkstandige cirkels op den hemelbol, heeten deze parallelcirkels de *noorder-keerkring* en de *zuider-keerkring*.

De keerkringen en poolcirkels verdeelen het aardoppervlak in 5 deelen, die men luchtstreken noemt.

De *heete of verzengde luchtstreek* ligt tusschen de beide keerkringen.

De *N. en Z. koude of bevrozen luchtstreken* liggen benoorden den noorder- en bezuiden den zuider-poolcirkel. Ieder van deze heeft de gelijknamige pool tot middelpunt.

De *N. en Z. gematigde luchtstreken* liggen elk tusschen den gelijknamigen keerkring en poolcirkel in.

Uit het voorafgaande zal het gemakkelijk zijn, voor elke luchtstreek het kenmerk te vinden.

In het zuidelijk halfrond begint de Lente in Sept., de Zomer in Dec., de Herfst in Maart, de Winter in Juni.

§ 5.

Tegenvoeters, tegenwoners, omwoners.

Wanneer eene plaats ligt op	a°	O. L. en b° N. Br.
dan wonen de <i>tegenvoeters</i> op	$(a + 180)^{\circ}$	O. L. en b° Z. Br.
de <i>tegenwoners</i> op	a°	O. L. en b° Z. Br.
de <i>omwoners</i> op	$(a + 180)^{\circ}$	O. L. en b° N. Br.

Hieruit is licht op te maken het verschil in seizoen en tijd van den dag.

§ 6.

Straalbreking. Schemering.

De tot dusverre besproken verschijnselen worden in bijzonderheden steeds gewijzigd door bijkomende omstandigheden, waarvan wij thans enkele zullen aanstippen.

Het licht, dat van zon, maan en sterren tot onze aarde komt, zou in rechte lijnen voortgaan, als het van deze richting niet min of meer werd afgebogen bij zijne beweging door de dampkringslucht, die dichter is, naarmate zij nader is bij den grond. Een gevolg hiervan is, dat de hemellichamen steeds hooger aan den hemel schijnen te staan, dan anders het geval zou zijn; deze opheffing is sterker naarmate de hoogte geringer is; aan den horizon bedraagt zij omstreeks 33'.

Hierdoor worden vele verschijnselen gewijzigd: zoo komt elk hemellichaam vroeger op en gaat later onder, dan zonder *straalbreking* het geval zou zijn; zoo schijnen zon en maan nabij den horizon niet rond, maar ovaal; zoo moet men nader tot de pool gaan, dan de poolcirkel, om een dag te vinden, wanneer de zon niet opkomt, daarentegen kan men nader bij den aequator een nacht vinden, waarin de zon niet ondergaat, enz.

De *schemering* wordt veroorzaakt doordat de zon 's morgens vóór het opkomen en 's avonds na het ondergaan de hoogere lagen van den dampkring beschijnt, al bereiken hare stralen den grond niet. Men rekent, dat de *sterrenkundige schemering* voortduurt, zoolang men nog een gedeelte van den dampkring verlicht ziet, en heeft bevonden, dat dit het geval is als de diepte van de zon onder den horizon niet meer dan 16° bedraagt.

Op den langsten dag bedraagt, op onze breedte (van 53°), de middernachtsdiepte van de zon onder den horizon slechts $(90^\circ - 53^\circ) - 23\frac{1}{2}^\circ = 13\frac{1}{2}^\circ$ ongeveer. Daarom loopen in dien nacht

en de nachten, die voorafgaan en volgen, avond- en morgenschemering ineen.

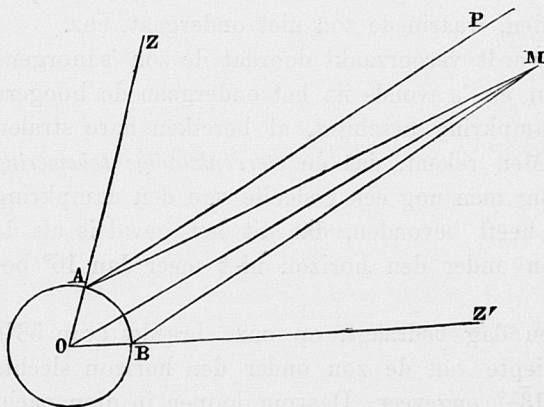
De *burgerlijke schemering*, dat is de tijd vóór zonsopkomst en na zonsondergang, gedurende welken men nog vrij goed zonder kunstlicht kan zien, duurt veel korter. Men stelt hare grens bij eene diepte der zon van $6\frac{1}{2}^\circ$ onder den gezichtseinder.

Door de schemering worden de winternachten in de koude luchtstreek aanmerkelijk verkort.

§ 7.

Dagelijksche parallaxis.

Ofschoon men in het algemeen kan aannemen, dat de lichtstralen, die van eene ster komen tot de verschillende punten der aarde, onderling evenwijdig zijn (Hoofdst. III. § 1. b), zoo is dit niet voor *alle* hemellichamen volkomen waar. De hoek, dien twee zulke lichtstralen te zamen maken, noemt men *verschilzicht* of *parallaxis*. Wanneer deze merkbaar is, kan men daaruit den afstand van het hemellichaam tot de aarde vinden.

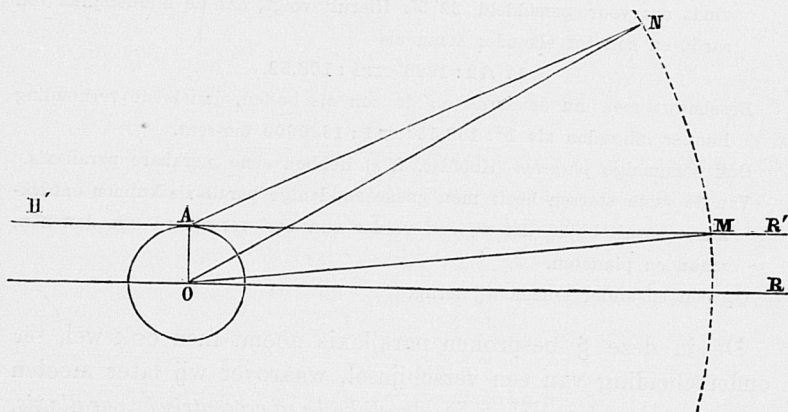


Laat, om dit voor eeneenvoudig geval op te helderen, in nevensstaande figuur, O het middelpunt der aarde voorstellen; de cirkel A B zij de gemeenschappelijke meridiaan van twee plaatsen A en B; en het punt M een hemellichaam, dat eene merkbare parallaxis heeft, en wel op het oogenblik, dat het door het meridiaanvlak A B gaat.

Trekt men nu uit A en B gezichtsstralen AM en BM, en uit A. AP || BM, dan is $\angle PAM = \angle AMB =$ de parallaxis.

Kent men nu $\angle AOB =$ het verschil der breedten van A en B, dan zal men, door de hoeken ZAM en Z'BM, die de complementen zijn van de hoogten van het hemellichaam voor de beide standplaatsen, te meten, van vierhoek OAMB 2 zijden en 3 hoeken kennen, en dus de zijden AM en BM kunnen berekenen, benevens diagonaal OM.

Wanneer de parallaxis eene merkbare grootte heeft, dan zal het bij de waarneming niet onverschillig zijn, of men als plaats van waarneming een punt neemt op het oppervlak der aarde, of haar middelpunt. Hoofzakelijk op de hoogte boven den horizon zal zulks van invloed zijn.



Als b.v. het hemellichaam M zich in den schijnbaren horizon H'R' bevindt, is zijne ware hoogte reeds $\angle ROM = \angle OMA$.

Van het punt N is de *schijnbare hoogte* $\angle R'AN$;

de *ware* daarentegen $\angle RON = \angle R'AN + \angle ONA$.

In de laatste figuur is het vlak van teekening dat vertikaalvlak der waarnemingsplaats A, dat door het hemellichaam gaat, en niet zooals in de vorige figuur een meridiaanvlak.

De *parallaxis in hoogte* is dus de hoek, waaronder men uit het waargenomen punt den straal OA der aarde zou zien. Zij moet

bij de gemeten hoogte gevoegd worden, om de hoogte boven den waren horizon, dat is de ware hoogte, te vinden. Zij heeft hare grootste waarde, als het waargenomen punt zich in den schijnbaren horizon bevindt, en wordt dan *horizontale parallaxis* genoemd.

Van de *maan* bedraagt de hor. par. gemiddeld 57'.

Van de *zon* 8",86.

Hieruit leidt men af, dat de middelpunten van maan en aarde een gemiddelden afstand hebben van 60maal den aequatorialen straal der aarde: die van zon en aarde van ruim 23000 maal dien straal.

Verder volgt hiernit, dat men uit de zon de middellijn der aarde gemiddeld zou zien onder een hoek van $2 \times 8",86 = 17",72$. Met fijne werktuigen kan men uit de aarde de schijnbare middellijn der zon meten en vindt daarvoor gemiddeld 32' 3". Hieruit volgt, dat de middellijnen van aarde en zon tot elkander staan als

$$17",72 : 1923" = 1 : 108,52,$$

Beschouwt men nu de aarde en de zon als bollen, dan is de verhouding hunner inhouden als $1^3 : 108,52^3 = 1 : 1300000$ omtrent.

Ook sommige *planeten* (Hoofdst. I, s) hebben eene merkbare parallaxis.

Van de vaste sterren heeft men geene zoodanige parallaxis kunnen ontdekken, waaruit blijkt, dat zij *veel* verder van ons verwijderd zijn dan zon, maan en planeten.

Op een en ander komen wij terug.

De in deze § besproken parallaxis noemt men ook wel, ter onderscheiding van een verschijnsel, waarover wij later moeten spreken (Hoofdst. VII. § 7), *dagelijksche* of *geocentrische parallaxis*.

VIJFDE HOOFDSTUK.

DAGELIJKSCHE BEWEGING DER AARDE OM HARE AS.

§ 1.

Mogelijkheid en waarschijnlijkheid.

Tot nog toe namen wij de dagelijksche beweging van den sterrenhemel, als werkelijk bestaande aan: daartoe zou het geheele heelal, buiten de aarde, zich in 24^u om eene as moeten wentelen, in eene richting van O. naar W.

Even goed laat het verschijnsel zich verklaren, door aan te nemen, dat het *de aarde* is, die *elke* 24^u *eene omwenteling volbrengt, van W. naar O.* — De as der aarde zou dus dezelfde zijn, die wij tot dusverre als as des hemels beschouwden, maar én deze as én het aequatorvlak hebben dan meer rechtstreeks betrekking tot de aarde. De polen des hemels zijn dan niet anders dan de punten, waarheen de as der aarde gericht is, wanneer men haar onbepaald verlengd denkt.

Mogelijk is deze verklaring van het verschijnsel, want wij weten, dat de aarde aan niets bevestigd is (Hoofdst. II).

Waarschijnlijk, wanneer men bedenkt, dat de aarde uiterst klein is, met betrekking tot den sterrenhemel (Hoofdst. I. § 5; III. § 1; IV. § 7);

dat ook die hemellichamen, die veel nader bij ons zijn dan de overige, in de dagelijksche beweging schijnen te deelen (Hoofdst. IV. § 7);

dat werkelijk omwentelingsas en aequator ten opzichte van den sterrenhemel van plaats veranderen, maar ten opzichte der aarde hun stand behouden (Hoofdst. III. § 4).

§ 2.

Tegenwerpingen.

a. Zou men de beweging der aarde niet moeten voelen?

De ondervinding leert ons, dat eene beweging, waaraan men deel neemt met wat ons omgeeft, alleen merkbaar wordt door hare ongelijkmatigheid, of door vergelijking met voorwerpen, die er niet in deelen.

Nu is de dagelijksche beweging volmaakt eenparig, zooals daaruit blijkt, dat zij dienen kan tot maat der lengteverschillen op aarde en der verschillen van R. kl. aan den hemel (Hoofdst. II. § 4 en III. § 2).

De voorwerpen buiten de aarde doen ons juist eene beweging vermoeden.

b. Als de aarde zich beweegt, zouden dan niet alle lichamen, die zich op aarde bevinden, daarvan moeten afvliegen?

Met deze tegenwerping bedoelt men de werking der zoogenaamde middelpuntvliedende kracht, die zich bij alle draaiende bewegingen doet gevoelen en dus ook plaats moet hebben, als de aarde om hare as draait. — De snelheid der om-draaiing is niet groot genoeg, om de werking der zwaarte, die de lichamen naar den grond trekt, op te heffen, maar heeft wel eene merkbare uitwerking, die wij juist als grond voor de beweging der aarde zullen aanvoeren.

c. *Als de aarde werkelijk omdraait, moet er dan niet altijd een stormwind waaien, vooral aan den aequator?*

Deze vraag ontstaat daardoor, dat men niet bedenkt, dat de lucht, die de aarde omringt, op den duur in hare beweging moet deelen, ook al deed zij dit niet reeds bij den aanvang. Ook de lucht levert gronden voor de omdraaiing.

§ 3.

Gronden voor de beweging der aarde.

Sinds COPPERNICUS omstreeks 1500 de mogelijkheid en waarschijnlijkheid der beweging van de aarde om hare as had in het licht gesteld, heeft deze leer de algemeene overtuiging voor zich gekregen. Echter is men steeds naar verschijnselen blijven zoeken op aarde, die voor de waarheid er van pleiten; men heeft er ook verscheidene gevonden. De voornaamste daarvan zijn de volgende:

a. *De lengte van den slinger.*

Een gevolg van de afplatting der aarde aan de polen moet zijn, dat elk lichaam aan de pool der aarde zwaarder weegt, dan aan den aequator. Dit kan men natuurlijk niet met eene balans onderzoeken, maar wel met eenig ander instrument, b. v. eene veerunster.

Ook met een slinger kan dit geschieden.

Een *eenvoudige slinger* is een stoffelijk punt, aan een onrekbaren draad zonder gewicht opgehangen. Door de zwaartekracht trekt het punt den draad verticaal naar beneden. Brengt men den slinger in een schuinen stand en laat men hem dan los, dan begint hij te slingeren. *Slingertijd* is de tijd, benoodigd om van zekeren hoogsten stand aan de eene zijde der verticaal tot den volgenden hoogsten stand aan de andere zijde te geraken.

GALILEI vond in 1583, dat de slingertijd bij kleine schommelingen afhangt:

- 1^o. van de lengte van den slinger: hij is korter naarmate deze korter is, en omgekeerd;
- 2^o. van de grootte der zwaartekracht: hij is korter wanneer deze sterker is, en omgekeerd;

zijnde de slingertijd rechtstreeks evenredig met den vierkantswortel uit de lengte des slingers en omgekeerd evenredig met den vierkantswortel uit de grootte der zwaartekracht ($t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$).

Een eenvoudigen slinger kan men niet maken, maar wel voor elken *samengestelden slinger* vinden hoe lang een eenvoudige zou moeten zijn, die denzelfden slingertijd had.

Wil men van een slinger den slingertijd onveranderd laten, dan zal zijne lengte rechtstreeks evenredig moeten zijn met de grootte der zwaartekracht.

RICHER vond in 1672, dat een slinger, die te Parijs secon-deslinter was, te Cayenne moest verkort worden, om dit te blijven. In het algemeen is de werking der zwaartekracht zwakker, naarmate men den aequator nadert, sterker, naarmate men dichter bij eene der polen komt.

Door proeven met den slinger heeft men gevonden, dat de zichtbare werking der zwaartekracht van pool tot aequator vermindert met $\frac{1}{194}$.

Van deze vermindering is een gedeelte, nam. $\frac{1}{590}$ het gevolg van de verminderde aantrekking, die de aarde ten gevolge harer afplatting (Hoofdst. II. § 6) aan den aequator uitoefent, vergeleken bij die aan de pool.

Het verschil $\frac{1}{194} - \frac{1}{590} = \frac{1}{289}$ is juist zooveel vermindering als de middelpuntvliedende kracht (Hoofdst. V. § 2. b) moet teweeg brengen, ingeval de aarde zich beweegt.

- b. *De afgeplatte vorm van de aarde zelve*, en vooral van de *zeeoppervlakte*, is mede een grond voor de omdraaiing der aarde, in verband met de werking der middelpuntvliedende kracht.

Juist deze afplatting moet daardoor teweeggebracht worden. Hield de beweging op, dan zou zich eene groote hoeveelheid water van den aequator naar de polen verplaatsen.

Alle geleerden houden het er voor, dat de aarde vroeger gasvormig en daarna vloeibaar is geweest, en tengevolge van hare wentelende beweging de afgeplatte gedaante heeft gekregen.

- c. *Lichamen, die van eene groote hoogte vallen*, moeten, wanneer de aarde stilstaat, juist verticaal onder het punt van uitgang neerkomen. Draait echter de aarde, dan beweegt zich elk punt sneller, naarmate het verder van de as verwijderd is, en dus beweegt zich het uitgangspunt van den val sneller dan het punt, waar het lichaam neerkomt. Daarom zullen vallende lichamen, als de aarde zich beweegt, oostelijk van de loodlijn, die uit het valpunt is neergelaten, moeten neerkomen.

BENZENBERG heeft dit in 1802 en REICH in 1834 beproefd, en steeds zijn de proeven uitgekomen. Zij zijn echter moeilijk te nemen, wegens de kleinheid der afwijking en de bijna niet te vermijden storingen.

- d. De *Passaatwinden* zijn in 1735 door GEORGE HADLEY verklaard uit de omdraaiende beweging der aarde. Als deze stilstond, dan zouden de heerschende winden (die van meer plaatselijken aard daargelaten), tengevolge van de meerdere warmte, die de zoogenaamde heete luchtstreek van de zon ontvangt, de volgende zijn:

een opstijgende luchtstroom omstreeks den aequator;

koude winden van de polen naar den aequator;

warne luchtstroomen in tegengestelden zin, hooger in den dampkring.

Daar de aarde draait komen de koude stroomen in streken, die zich sneller bewegen, dan die, welke zij verlaten hebben, en zij moeten dus bij de beweging der aarde achterblijven;

met de warme stroomen heeft het omgekeerde plaats. In het N. halfrond moet dus de koude benedenwind van N. in N. O. veranderen, de heete bovenwind van Z. in Z. W. In het Z. halfrond daarentegen verandert de koude benedenwind van Z. in Z. O., de heete bovenwind van N. in N. W.

Dit heeft werkelijk aldus plaats. Aan weerszijden der linie waaien deze koude benedenwinden regelmatig en dragen den naam van passaatwinden.

Op hoogere breedten heeft nu eens de benedenwind, dan weder de bovenwind de overhand. Daarom zijn in het N. halfrond de heerschende winden N. O. en Z. W., in het Z. halfrond Z. O. en N. W.

Deze algemeene regel wordt door plaatselijke invloeden, zooals b. v. de verdeeling van land en water, het beloop der kusten, de richting van bergketenen, enz. veelvuldig gewijzigd.

- e. De *draaiingswet van den wind*, in de laatste jaren door DOVE aangewezen, vindt hare verklaring geheel uit het bovengezegde. Een wind, die in de richting van de pool naar den aequator waait, zal, wanneer hij eenigen tijd aanhoudt, eene meer uit het O. komende richting aannemen; een wind van den aequator naar de pool op den duur meer W. worden.

In het N. halfrond zullen dus op den duur de N. winden door het N. O. naar het O., de Z. winden door het Z. W. naar het W. omloopen; in 't dagelijksch leven zegt men: „De wind draait met de zon mede.”

In het Z. halfrond draait om dezelfde reden de Z. wind door het Z. O. naar het O., de N. wind door N. W. naar W.

Het *krimpen van den wind*, d. i. het draaien in tegengestelden zin als hierboven is opgegeven, is een bewijs van plotseling opgekomen storingen in den dampkring en duidt daarom meestal ongestadig weder aan.

- f. Ook tot de verklaring der *zeestroomingen* gebruikt men dezelfde

gronden en daardoor leveren ook deze verschijnselen nieuwe bewijzen voor de omdraaiing der aarde.

- g. In 1851 heeft FOUCAULT in den *slinger* een nieuwen grond gevonden voor het werkelijk in beweging zijn der aarde. — Wanneer men een slinger zoodanig heeft opgehangen, dat hij even gemakkelijk in alle richtingen kan slingeren, en men brengt hem in een willekeurig verticaal vlak in beweging, dan zal hij in dat vlak blijven slingeren. Al draait men het ophangpunt om, toch blijft het *slingervlak* behouden.

Onderstel nu, dat een slinger aan de pool der aarde 24u. lang aan het slingeren is, dan zal in dien tijd de aarde eens om hare as wentelen en alle meridiaanvlakken zullen achtereenvolgens met het slingervlak samenvallen. Een waarnemer zou dus meenen het slingervlak te zien draaien in den zin der dagelijksche schijnbare beweging van den hemel, zoodat het steeds met hetzelfde declinatievlak bleef samenvallen.

Aan de pool der aarde is deze proef niet te nemen, maar voor mindere breedten bevindt men, dat het slingervlak ook zal schijnen te draaien, en wel zoodanig, dat de mate van afwijking in een bepaalden tijd van de breedte der plaats afhangt. — FOUCAULT en, in navolging van hem, vele anderen hebben deze proef genomen, die altijd uitkomsten heeft opleverd, in overeenstemming met de theorie.

- h. Een anderen grond voor de omdraaiing der aarde heeft mede FOUCAULT geleverd, en wel in zijn *gyroskoop*.

Dit werktuig bestaat uit een lichaam van platronde gedaante met zwaren rand, waaraan eene as zoodanig is aangebracht, dat de deelen van het lichaam ten opzichte van die as volkomen symmetrisch zijn geplaatst.

Deze as rust in een dubbelen ring, bij wijze van een scheepskompas, en zal dus alle mogelijke standen kunnen aannemen, terwijl het voetstuk van het instrument in rust blijft. Laat men het lichaam zeer snel omwentelen, dan zal het zijne as

niet toestaan van richting te veranderen, al verplaatst men den voet, ja het geheele instrument.

Wanneer men nu dit instrument gedurende geruimen tijd laat omdraaien, dan zal langzamerhand de as ten opzichte van de aardsche voorwerpen van stand veranderen, maar steeds op hetzelfde punt van den hemel gericht blijven.

§ 4.

Opmerkingen.

Uit al het voorgaande volgt, dat de beweging der aarde om hare as werkelijkheid is; de beweging van den sterrenhemel daarentegen slechts schijn. Al het gezegde in de vier eerste Hoofdstukken blijft volkomen waar, mits men dit er bij in aanmerking neme.

Nu wij reeds tot het besluit gekomen zijn, dat zon, maan en planeten nader bij ons zijn dan de vaste sterren, kunnen wij het begrip van eenen *hemelbol* in zooverre wijzigen, dat wij dezen niet als werkelijk bestaande beschouwen. Ons oog kan niet zonder hulpmiddelen de, mogelijk zeer verschillende, afstanden der onderscheiden hemellichamen beoordeelen en rekent ze daarom onwillekeurig allen op gelijken afstand; of — wat op hetzelfde neerkomt — projecteert ze op het oppervlak van een bol, waarvan het zelf het middelpunt inneemt. Als hulpmiddel van voorstelling heeft dus de hemelbol groote waarde, maar een werkelijk bestaan mogen wij hem niet toekennen.

ZESDE HOOFDSTUK.

ZON, MAAN EN PLANETEN. MEENINGEN DER OUDEN.
STELSEL VAN COPPERNICUS.

§ 1.

Schijnbare beweging der zon in de ruimte.

In Hoofdst. I. § 2 en 3 zeiden wij, dat de zon in de dagelijkse beweging, die de sterrenhemel schijnt te hebben, deelt. In Hoofdst. V verklaarden wij deze uit de omwenteling der aarde om hare as. Maar buitendien schijnt de zon zich in een jaar tijds over den geheelen omtrek des sterrenhemels tusschen de sterren te verplaatsen, in een grooten cirkel, dien men *zonsweg* of *ecliptica* noemt (I. § 3. *t*; III, IV).

Deze groote cirkel is echter niets anders, dan de afteekening op den hemelbol van de achtereenvolgende richtingen, waarin wij de zon zien; deze is zelve veel dichtër bij ons dan de sterren (IV. § 7).

Uit het tot dusverre gezegde blijkt dus alleen, dat de zon zich met de aarde steeds bevindt in een zelfde plat vlak, dat den schijnbaren hemelbol snijdt volgens den grooten cirkel, dien men *ecliptica* noemt. In dat platte vlak kan de zon zich op grooter of kleiner afstand van de aarde bevinden.

De Grieksche sterrenkundigen (en wel hoofdzakelijk HIPPARCHUS en PTOLEMAEUS, welke laatste 130 jaar na Chr. leefde) zochten den loop der zon te verklaren, door aan te nemen, dat zij zich met eenparige snelheid in een cirkel beweegt.

Bevond zich nu de aarde in het middelpunt van dien cirkel, dan moest de zon elken dag een even grooten boog van de ecliptica schijnen af te leggen, hetgeen niet het geval is; in Januari b.v. is hare dagelijkse verplaatsing in de ecliptica merkkelijk grooter dan in Juni.

Om die reden namen zij aan, dat de aarde buiten het middelpunt van dien cirkel lag.

§ 2.

Schijnbare beweging der maan in de ruimte.

In Hoofdst. I. § 4 en IV. § 7 deelden wij reeds het een en ander omtrent de maan mede. Daaruit weten wij, dat zij veel nader bij ons is dan de zon of eenige ster, en dat zij in ongeveer eene maand den geheelen omtrek des sterrenhemels schijnt te doorloopen.

De Ouden verklaarden deze beweging der maan op soortgelijke wijze als die van de zon, maar moesten wegens den onregelmatigen loop der maan hiertoe zeer samengestelde onderstellingen aannemen.

§ 3.

Planeten, die bij de Ouden bekend waren.

In Hoofdst. I. § 3. s spraken wij van enkele sterren, die zich op eene onregelmatige wijze tusschen de zoogenaamde vaste sterren schijnen te verplaatsen. De Ouden kenden er behalve zon en maan, vijf, die zij *planeten* of *dwaalsterren* noemden, en waaraan zij de namen gaven van

Mercurius ☿,
 Venus ♀,
 Mars ♂,
 Jupiter ♃,
 en Saturnus ♄.

Zij merkten op, dat geene dezer planeten zich ooit verder dan 8° ten N. of ten Z. van de ecliptica verwijdert, en trokken daarom op de hemelglobe evenwijdig aan de ecliptica op dezen afstand twee cirkels. Den tusschengelegen gordel noemt men *zodiak* of *dierenriem*.

Om met den schijnbaren loop dezer planeten eenigszins nader bekend te worden, zullen wij *Venus* als voorbeeld aanhalen, daar deze planeet ons allen bekend is als *avond-* en *morgenster*.

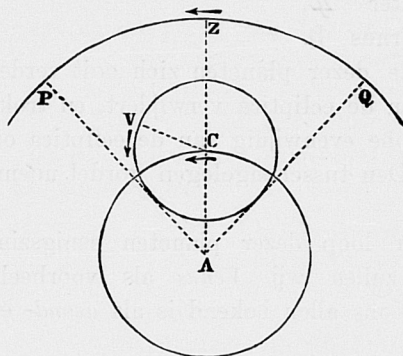
Soms zal men kort na zonsondergang *Venus* aan den westelijken hemel zien en door hare helderheid haar reeds gewaarworden, als het schemerlicht andere sterren nog voor ons oog verbergt; zij zal kort daarna ondergaan. Elken volgenden avond zal zij iets verder van de zon verwijderd zijn en dus langer zichtbaar blijven, totdat de afstand omstreeks 45° bedraagt. Dan zal zij weder tot de zon schijnen te naderen en eindelijk 's avonds niet meer te zien zijn.

Eenigen tijd daarna kan men haar des morgens in het oosten zien vóór zonsopkomst. Zij schijnt dus de zon vooruit te loopen, totdat zij weder den grootsten afstand van 45° bereikt, om dan weder achter te blijven, totdat de zon haar inhaalt en achter zich laat, en zij weder avondster wordt.

Brengt men deze schijnbare beweging over op den sterrenhemel, dan blijkt het, dat *Venus* in den regel zich in dezelfde richting schijnt te bewegen als de zon, maar somtijds schijnt stil te staan, en dan weder terug te gaan.

De schijnbare loop van *Mercurius* biedt soortgelijke verschijnselen aan als die van *Venus*. Deze planeet verwijdert zich

echter niet zoo ver van de zon als Venus en is daardoor veelal onzichtbaar.



De Ouden verklaarden deze beweging door aan te nemen, dat de planeet zich beweegt over den omtrek V van een cirkel, wiens middelpunt C zelf in een cirkel om de aarde A loopt; en wel zoodanig, dat C altijd blijft in de rechte lijn, die van A naar het middelpunt Z der zon gaat, waarbij Q Z P de baan der zon om de aarde voorstelt. Trekt men nu aan cirkel C V uit het punt A de raaklijnen A P en A Q, dan duiden de

bogen Z P en Z Q de grootste afstanden aan, die de planeet van de zon kan schijnen te hebben. Hieruit zal men nu de verhouding van A C tot C V kunnen vinden, maar niet die van A C tot A Z. Sommigen dachten dan ook, dat A C grooter, anderen dat A C kleiner dan A Z was; enkelen eindelijk dat $A C = A Z$ was, en dat Venus (en evenzoo Mercurius) zich om de zon bewogen, en met deze om de aarde.

De Ouden noemden Mercurius en Venus *benedenplaneten*, de drie anderen *bovenplaneten*; (wij noemen ze tegenwoordig *binnenplaneten* en *buitenplaneten*). Deze laatsten kunnen zich in den dierenriem op alle afstanden van de zon bevinden. Wanneer zij juist 180° met de zon in lengte verschillen, zegt men dat zij in *oppositie* met de zon zijn; is hare lengte gelijk aan die der zon, dan zijn zij in *conjunctie* met deze.

Hare beweging is, evenals die van de benedenplaneten, beurtelings *rechtstreeks*, d. i. in dezelfde richting als de beweging der zon, en *teruglopend*, d. i. in tegenovergestelde richting.

Het bleek echter reeds aan de Ouden, dat ook van de bovenplaneten de beweging met die der zon samenhangt. Men nam aan, dat ook haar

loop geschiedde in den omtrek van een cirkel, wiens middelpunt zich in een tweeden cirkelomtrek rondom de aarde bewoog.

§ 4.

Planetenstelsel volgens Ptolemaeus.

In hoofdtrekken komt dus het stelsel, dat men gewoonlijk dat van PTOLEMAEUS noemt, daarop neer, dat de aarde stilstaat en in kringen van het westen naar het oosten zich om haar bewegen:

de Maan,
Mercurius,
Venus,
de Zon,
Mars,
Jupiter,
Saturnus,

zoo, dat de meeste dezer lichamen eigenlijk den omtrek van cirkels doorloopen, waarvan het middelpunt zich weder in een cirkel om de aarde beweegt.

De grondbeginselen, waaraan men zich bij dit stelsel meende te moeten vasthouden, waren dus, dat men de aarde als middelpunt aannam en dat men het er voor hield, dat alle bewegingen in cirkels moeten geschieden met eenparige snelheden.

In de middeleeuwen werden de werken van PTOLEMAEUS weder in Europa bekend, en was zijn stelsel algemeen als het ware aangenomen.

Men maakte tafels, om, ook voor de toekomst, de plaatsen, die de planeten elk oogenblik aan den hemel moesten innemen, te kunnen bepalen. Zoo vereenigde de Spaansche koning ALFONSUS X in 1240 na Chr. de meest bekende sterrenkundigen

van zijn tijd te Toledo, om tafels te maken, die zoo nauwkeurig mogelijk met de verschijnselen overeenstemden.

Telkens bewees de uitkomst, dat de tafels en dus de grondslagen, waarop zij rustten, niet juist waren. Om de theorie met de waarnemingen in overeenstemming te brengen, was men genoodzaakt het stelsel telkens omslachtiger te maken.

§ 5.

Stelsel van Copernicus.

COPERNICUS, in 1473 te Thorn geboren, gaf van de inrichting van het planetenstelsel eene geheel andere verklaring.

Volgens hem is het lichaam, dat het middelpunt van het stelsel inneemt, niet de aarde, maar de zon. Alle planeten bewegen zich in kringen om de zon, elk in haar eigen vlak, en de aarde is eene planeet evenals de overige. Alleen de maan beweegt zich om de aarde en wordt door deze in hare jaarlijksche beweging om de zon medegevoerd.

Van de zon af gerekend is nu de volgorde der planeten:

Mercurius,

Venus,

de Aarde met de Maan,

Mars,

Jupiter,

Saturnus.

De schijnbare jaarlijksche beweging van de zon tusschen de sterren kan op deze wijze volmaakt goed verklaard worden. De ecliptica is de weg, dien de zon tusschen de sterren schijnt af te leggen, uit de aarde gezien. Het zal nu tevens de weg zijn, dien de aarde tusschen de sterren zou schijnen te doorloopen, als wij haar van de zon uit beschouwden; maar, als men uit de

aarde de zon ziet in het teeken van den Ram, dan zou men uit de zon de aarde zien in het teeken van de Weegschaal, enz. (Zie verder § 7).

Naar het stelsel van COPPERNICUS zijn de schijnbare stilstanden en teruggangen der planeten noodzakelijke gevolgen daarvan, dat de aarde, vanwaar men ze waarneemt, zelf in beweging is; ook zeiden wij in § 3, dat reeds de Ouden opmerkten, dat de beweging der planeten met die van de zon samenhangt.

Dat de aarde in beweging is, zal op zich zelf genomen ons niet behoeven te verwonderen, na hetgeen wij in Hoofdst. V zeiden omtrent hare dagelijksche beweging.

TYCHO BRAHE, (geb. in 1546), wilde in een stelsel dat zijn naam draagt, nog eene poging wagen, om de voordeelen, die COPPERNICUS bij de verklaring der verschijnselen verkregen had, door de planeten om de zon te doen bewegen, te vereenigen met het begrip eener stilstaande aarde. Hij nam aan dat de planeten zich om de zon bewogen, en deze laatste met de planeten om de stilstaande aarde. Dit stelsel heeft echter nooit opgang gemaakt.

Het stelsel van COPPERNICUS daarentegen is door alle latere ontdekkingen steeds meer bevestigd, terwijl het tevens steeds meer werd volmaakt. Thans kan men het als ontwijfelbare waarheid beschouwen.

Hetgeen hoofdzakelijk tot deze uitkomst heeft bijgedragen moeten wij in hoofdtrekken hierna vermelden.

Op zichzelf maakt reeds de grootere omvang der zon vergeleken bij dien der aarde (Hoofdst. IV § 7) het waarschijnlijk, dat niet de aarde, maar de zon het middelpunt van het planetenstelsel inneemt.

§ 6.

Ontdekkingen van Galileï.

GALILEO GALILEI (geb. te Pisa in 1565) was een der eerste geleerden, die openlijk het stelsel van COPPERNICUS aanhing. De verrekijkers, te Middelburg uitgevonden, werden door hem op den hemel gericht en leverden hem in 1610 een paar zeer merkwaardige ontdekkingen, ter bevestiging van de waarheid der leer van COPPERNICUS.

De planeet Venus toonde hem, door een kijker gezien, dezelfde schijngestalten als de maan, en uit de wijze, waarop deze plaats hadden, volgde onwedersprekelijk, dat deze planeet werkelijk om de zon loopt.

Later heeft men ook bij Mercurius dergelijke schijngestalten waargenomen, en zelfs beide planeten, op vooruit berekende tijden, vóór de zonneschijf heen zien trekken.

De andere ontdekking deed GALILEI door zijn kijker op Jupiter te richten. Het bleek hem, dat deze planeet vergezeld is van 4 kleine bollen, die zich om de hoofdplaneet bewegen en deze door de ruimte vergezellen. Hierin straalt de grootste overeenkomst door met de leer van COPPERNICUS, dat de maan, terwijl zij zich om de aarde beweegt, deze steeds in hare beweging vergezelt. Daarom worden deze kleine planeten *manen van Jupiter* genoemd. Het stelsel van Jupiter, met zijne manen of wachters, was ook een zonnestelsel in het klein.

§ 7.

Iets over de beweging van de aarde om de zon
en van de maan om de aarde.

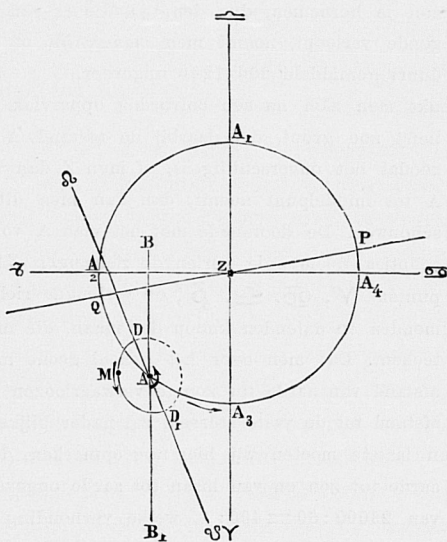
Laat in onderstaande figuur Z de plaats der zon voorstellen, en de kring A_1

$A_2 A_3 A_4$ de werkelijke loopbaan der aarde om de zon; zij A een wille-

keurige stand der aarde in hare baan, en BB_1 de doorsnede van den aard-schen aequator met het vlak der ecliptica. Trekken wij door Z de lijnen $A_1 A_3 \parallel BB_1$, en $A_2 A_4$ loodrecht op BB_1 , en onderstellen wij, dat wij het vlak der ecliptica van de noordzijde bezien, dan moet men zich de omwentelingsas der aarde voorstellen als eene lijn, staande loodrecht op BB_1 en makende met het vlak der ecliptica een hoek van ongeveer $66\frac{1}{2}^\circ$, en wel zoodanig, dat de noordelijke helft der aardas zich boven het vlak der teekening verheft en de projectie er van zich van A af uitstrekt in de richting $\parallel ZA_4$. De beide bij A geplaatste pijltjes wijzen de richtingen aan van de bewegingen der aarde om hare as en om de zon. In het noordelijk half-rond begint de lente als de aarde in A_1 , de zomer als zij in A_2 , de herfst als zij in A_3 , de winter als zij in A_4 is gekomen.

Laat verder M de maan voorstellen en MD_1D hare loopbaan om de aarde; het vlak dezer loopbaan maakt met dat van de loopbaan der aarde een hoek van 5° ongeveer. De lijn DD_1 stelt de doorsnede van beide vlakken, of de zoogen. *knooplijn* voor, en DMD_1 het gedeelte van de loopbaan der maan, dat benoorden het vlak der ecliptica ligt. Als de maan zich in D bevindt, verandert hare breedte van zuidelijk in noordelijk; men zegt, dat zij dan in haar *klimmenden knoop* is. In D_1 is zij in haar *dalenden knoop*.

Stelt men zich nu een vlak voor, door A en Z gaande, loodrecht op het vlak der ecliptica, dan zal het bij de beweging der aarde om de zon voortdurend van stand veranderen en het vlak DMD_1 snijden volgens eene lijn, die met het vlak der ecliptica een veranderlijken hoek maakt. Bevindt



de maan zich in dit vlak tussehen A en Z in, dan heeft men nieuwe maan; bevindt zij zich aan de van Z afgekeerde zijde van A, dan heeft men volle maan.

Eclipsen zal men in deze standen al of niet hebben, naarmate de knoopenlijn meer of min met den oogenblikkelijken stand van A Z overeenkomt.

Den tijd, dien de maan noodig heeft om, van de aarde uit gezien, haar zelfden stand tusschen de vaste sterren te hernemen, noemt men den *sideralen omloopstijd* der maan; deze duurt $27^d 7\frac{3}{4}^u$ bijna, midd. zonnetijd.

Den tijd, dien de maan behoeft om haar zelfden stand tusschen aarde en zon te hernemen, dus den tijd, die er van elke nieuwe maan tot de volgende verloopt, noemt men *maneschijn* of *synodischen omloopstijd*; deze duurt gemiddeld $29^d 12\frac{3}{4}^u$ ongeveer.

Denkt men zich nu een bolvormig oppervlak met willekeurigen straal, maar liefst zoo groot, dat daarbij de afstand A Z buiten rekening kan blijven, zoodat het onverschillig is, of men Z dan wel eenig punt in den omtrek A tot middelpunt neemt, dan kan men dit oppervlak als hemelbol beschouwen. De doorsnede met het vlak A vormt dan den cirkel, dien men *ecliptica* noemt; de verlengde richtingen ZA_3 , ZA_4 , ZA_1 , ZA_2 , leveren de punten γ , δ , ϵ , ζ ; de verlengde richtingen A D en A D₁ den klimmenden en dalenden knoop der maan, die men gewoonlijk met Ω en ϖ teekent. Dat men over het geheel geene merkbare fout maakt, door den afstand van aarde tot zon te verwaarloozen in vergelijking met haar beider afstand tot de vaste sterren, zal nader blijken uit Hoofdstuk VII § 6.

Ten laatste moeten wij hier nog opmerken, dat (IV; § 7) de afstanden van aarde tot zon en van maan tot aarde ongeveer tot elkander staan in reden van $23000:60=400:1$, welke verhouding natuurlijk onmogelijk in onze figuur was in het oog te houden.

ZEVENDE HOOFDSTUK.

WETTEN VAN KEPPLER EN NEWTON.

§ 1.

Wetten van Keppler.

Weil der Staat

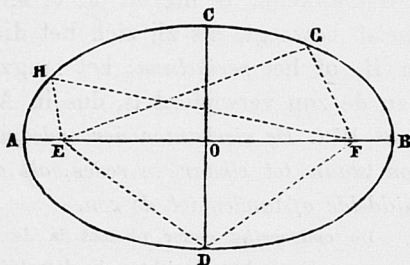
JOHANNES KEPPLER (geb. den 27 Dec. 1571, te ~~Magstätt~~, in Wurtemberg) was, evenals zijn tijdgenoot GALILEI, een voorstander van het stelsel van COPPERNICUS. Door Keizer MATTHIAS belast met de bewerking der voor dien tijd zeer nauwkeurige sterrenkundige waarnemingen van TYCHO BRAHE stelde hij zich ten doel, daaruit door berekening te vinden, in welke kringen de planeten zich om de zon bewegen. Hij nam achtereenvolgens verschillende onderstellingen aan, toetste deze aan de waarnemingen en vond na vele langdurige berekeningen de drie wetten, die zijn naam beroemd hebben gemaakt, namelijk:

1^e Wet. Elke planeet beweegt zich in den omtrek eener ellips, waarvan het eene brandpunt zich in het middelpunt der zon bevindt.

Eene ellips is eene vlakke kromme

lijn, wier punten zoodanig gelegen zijn, dat de som der afstanden, die elk heeft tot twee bepaalde punten in het platte vlak, voor allen dezelfde is. Deze twee punten noemt men de *brandpunten* der ellips.

In nevensstaande figuur stelt de

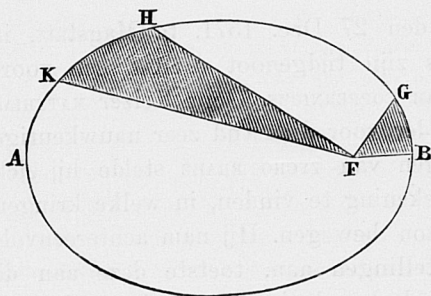


kromme lijn eene ellips voor, die E en F tot brandpunten heeft. Volgens de bepaling van ellips moet men hebben $EG + FG = EH + FH = EA + FA = EB + FB = EC + FC = ED + FD = AB$.

De lijn AB, die door de beide brandpunten gaat, en de lijn CD, die AB loodrecht middendoor deelt, noemt men *de groote en de kleine as* der ellips. De afstand $OE = OF$ der brandpunten tot het middelpunt O is de *uitmiddelpuntigheid* of *excentriciteit*. Veelal neemt men de halve groote as als eenheid van lengte aan; dan is de uitmiddelpuntigheid $\frac{OE}{OB}$ eene gebruikelijke breuk.

Een cirkel is eene ellips, welker uitmiddelpuntigheid $= 0$ is.

2^e Wet. De perken, door de voerstralen doorloopen, zijn evenredig met de daartoe benoodigde tijden.



Wanneer nevensstaande ellips de loopbaan eener planeet voorstelt om de zon, die zich in het brandpunt F bevindt, dan noemt men voerstralen de lijnen FB, FG, FH, FK, uit dit brandpunt tot de verschillende punten van den omteek getrokken. Beweegt zich dus de planeet van B tot G, dan is het perk, dat de voerstraal doorloopt $= \text{Sect. BFG}$; wanneer nu

bg. BG in t dagen en bg. HK in t_1 dagen doorloopen wordt, dan leert de 2e wet van K., dat men hebben zal:

$$\text{Sect. BFG} : \text{Sect. HFK} = t : t_1.$$

Gemakkelijk is hieruit af te leiden, dat de planeet zich het snelst beweegt, als zij zich het dichtst bij de zon bevindt, dus in B, of het *perihelium*; het langzaamst, wanneer zij het verst van de zon verwijderd is, dus in A of het *aphelium*.

3^e Wet. De vierkanten der omloopstijden van twee planeten om de zon staan tot elkaar in reden, als de derde machten van hare gemiddelde afstanden tot de zon.

De omloopstijd eener planeet is de tijd, benoodigd om uit een zeker punt van hare loopbaan in datzelfde punt terug te komen.

Van onze aarde is de omloopstijd een jaar.

Daar de afstand eener planeet tot de zon niet altijd dezelfde is, maar in het aphelium 't grootst, in 't perihelium 't kleinst, zoo heeft men de halve groote as der ellips, (dus in de figuur van bldz. 63, $OA = OB =$

$$ED = FD = \frac{EG + FG}{2}), \text{ als gemiddelden afstand aangenomen.}$$

Wanneer nu van eene planeet de omloopstijd bedraagt t jaren, de halve groote as a lengte-eenheden. en van eene andere deze grootheden zijn t_1 en a_1 , dan leert ons de 3e Wet van KEPLER, dat men zal hebben $t^2 : t_1^2 = a^3 : a_1^3$.

§ 2.

Uitbreiding en bevestiging dezer wetten door latere waarnemingen.

Men heeft steeds bevonden, dat alle planeten in hare beweging om de zon aan de wetten van KEPLER gehoorzamen.

De maan loopt om de aarde in eene ellips, in welker ééne brandpunt zich de aarde bevindt.

Bij de volmaking der sterrenkundige werktuigen is het mogelijk geworden, met grooten graad van nauwkeurigheid grootheden als de schijnbare middellijnen van zon en maan te meten; deze zijn grooter of kleiner, naarmate die hemellichamen zich nader bij, of verder van de aarde bevinden, en de veranderingen, die men in de schijnbare middellijnen waarneemt, komen geheel overeen, met die, welke men vindt, als men de beweging volgens de beide eerste wetten van KEPLER aanneemt.

Ook bij het manensteisel van Jupiter heeft men eene volkomen bevestiging van die wetten waargenomen; niet alleen van de beide eerste wetten, maar ook van de 3e, wat betreft de gemiddelde afstanden van, en den tijd van omloop om de hoofdplaneet. Ook bij de later ontdekte planeten en manen (zie Hoofdst. VII) heeft men steeds deze wetten bevestigd gevonden.

In de figuur op bldz. 61 zouden de twee loopbanen nu ook ellipsen moeten zijn. Zij bijv. $A_1 A_2 A_3 A_4$ eene ellips, PQ de groote as of *lijn der apsiden*, P het perihelium, Q het aphelium; dan zou Z niet het middelpunt der ellips moeten wezen, maar het brandpunt dat het dichtst bij P ligt. In de figuur zou echter, tenzij men de excentriciteit (die slechts omstreeks $\frac{1}{60}$ bedraagt) wilde overdrijven, niet veel verandering merkbaar zijn.

§ 3.

Wet van Newton.

ISAAC NEWTON (geb. in 1642 te Woolsthorpe in Engeland) gaf in 1687 voor het eerst zijn onsterflijk werk uit, getiteld: *Philosophiae naturalis principia mathematica*. Daarin toont hij aan, dat alle stof beheerscht wordt door de wet, die hij de *algemeene wet der zwaartekracht* noemt. Deze wet luidt aldus:

Alle stofdeelen trekken elkander aan met eene kracht, omgekeerd evenredig met het vierkant van hun afstand, en rechtstreeks evenredig met de massa's der aantrekkende stofdeelen.

Hij wees den weg om van een lichaam, d. i. van een samenstel van aantrekkende stofdeelen, de geheele aantrekking te berekenen, en vond onder anderen dat een *bol*, van geheel gelijkslachtige samenstelling, op eenig stofdeel daarbuiten, eene even groote en eveneens gerichte aantrekking uitoefent, alsof de geheele massa van den bol in het middelpunt vereenigd was.

Beschouwt men nu de beweging eener planeet om de zon als vast middelpunt, zonder daarbij op de andere planeten te letten, dan zijn de wetten van KEPLER eenvoudige gevolgen van NEWTON's wet. De 2^e wet van KEPLER volgt daaruit, dat de beweging der planeten om de zon een gevolg is van de aantrekking der zon; — de 1^e wet uit de wijze, waarop de grootte

dier aantrekking van den afstand afhangt; — de 3^e wet daaruit, dat de aantrekking alleen van afstand en massa afhangt, en niet van den aard der stof, waaruit het aangetrokken lichaam bestaat.

De beweging der maan om de aarde, die van de Jupitersmanen om hunne planeet, vinden eveneens hare verklaring uit NEWTON'S wet.

Deze kan nu dienen om de kracht van aantrekking die de aarde en Jupiter uitoefenen, te vergelijken bij die van de zon. Immers uit de algemeene wet der zwaartekracht volgt, dat als een lichaam zich om een ander, waarvan de massa = M is, beweegt op een gemiddelden afstand a , in een tijd t , en als voor een tweede paar lichamen deze grootheden M_1 , a_1 , en t_1 zijn, men dan in het algemeen heeft;

$$t^2 : t_1^2 = \frac{a^3}{M} : \frac{a_1^3}{M_1}$$

van welke wet de 3^e wet van KEPLER een bijzonder geval is, omdat daarbij de planeten zich om eenzelfde centraallichaam bewegen, en dus $M = M_1$ is. Daaruit is gebleken, dat de massa der zon 330000maal zoo groot is als die der aarde. Vroeger (Hoofdst. IV. § 7) hebben wij vermeld, dat hare uitgebreidheid 1300000maal zoo groot is als die der aarde; hieruit volgt, dat de gemiddelde *dichtheid* der zon slechts $\frac{1}{4}$ van die der aarde bedraagt.

De massa van Jupiter is meer dan 300maal zoo groot als die der aarde gevonden.

§ 4.

Storingen der planeten. Praecessie en nutatie.

Uit de wet van NEWTON volgt onmiddellijk, niet alleen dat de planeten door de zon worden aangetrokken, maar ook dat zij omgekeerd de zon aantrekken; daar echter de massa der zon zoo vele malen grooter is dan die van alle planeten te zamen,

zoo is de daardoor veroorzaakte verplaatsing der zon uiterst gering.

Maar de planeten trekken ook elkander aan. Daardoor zal de beweging eener planeet telkens door de werking van alle overige min of meer worden gewijzigd; en geene planeet zal in hare beweging volkomen aan de wetten van KEPLER kunnen blijven gehoorzamen. Daar de werking der ZON verre de bovenhand heeft boven deze storende invloeden, zullen de planeten in hoofdzaak de wetten van KEPLER volgen, maar in bijzonderheden daarvan afwijken. Daar in KEPLER's tijd de beste waarnemingen, die van TYCHO BRÂHE, met de tegenwoordige vergeleken, nog zeer onnauwkeurig waren, kon hij uit die waarnemingen zijne wetten opmaken, maar uit steeds nauwkeuriger wordende waarnemingen is gebleken, dat daaraan slechts in hoofdtrekken voldaan wordt.

NEWTON heeft reeds aangewezen, dat zulke storingen moesten bestaan. Latere geleerden hebben middelen aangewezen om de uitwerking er van te berekenen. Derhalve kunnen de plaatsen, die de verschillende planeten aan den hemel zullen moeten innemen, lang vooruit met de grootste mate van nauwkeurigheid berekend worden.

De wet van NEWTON is dus op zich zelf voldoende, om van den loop der verschillende leden van ons zonnestelsel volkomen rekenschap te geven.

In Hoofdst. III § 4 hebben wij verklaard wat door *praecessie* te verstaan is, en dat het HIPPARCHUS was, die het bestaan daarvan ontdekte. COPERNICUS toonde aan dat de verschijnselen, die met den naam van praecessie bestempeld worden, hunne verklaring vinden, door aan te nemen, dat de as der aarde, bij hare beweging om de zon niet volkomen evenwijdig aan zich zelf blijft, maar eene langzaam omwentelende beweging heeft om eene lijn, door het middelpunt der aarde loodrecht op het vlak der ecliptica getrokken. Met die lijn blijft de as steeds

een hoek maken van $23\frac{1}{2}^{\circ}$ ongeveer en volbrengt om haar eene omwenteling in den tijd van omstreeks 26000 jaren.

BRADLEY deelde in 1748 als gevolgtrekking uit zijne zeer nauwkeurige waarnemingen mede, dat deze hoek niet volkomen standvastig is, maar onderhevig aan geregelde af- en toenamen, die telkens in een tijdsverloop van een weinig minder dan 19 jaar wederkeeren. Deze storing der praecessie werd door hem *nutatie* genoemd.

Hetgeen NEWTON reeds van de praecessie had vermoed, werd door de berekening van D'ALEMBERT (geb. in 1717) volkomen zekerheid. Hij toonde aan dat de verschijnselen der praecessie en nutatie veroorzaakt worden door de aantrekking der zon en der maan op de niet volkomen bolronde aarde. Als de aarde niet om hare as draaide, dan zou de aantrekking der zon op den duur ten gevolge hebben, dat de aequator der aarde meer en meer met de ecliptica samenviel; nu de aarde zich om hare as wentelt, daarentegen eene omdraaiing van die as om eene lijn, die loodrecht op de ecliptica staat.

De maan oefent een dergelijken invloed uit, en hoewel zij veel minder massa bezit dan de zon, is hare werking op den stand der aardas nog ongeveer $2\frac{1}{2}$ maal sterker dan die der zon. Maar het vlak, waarin zij zich beweegt, valt niet met de ecliptica samen; de loodlijn op het vlak der maansloopbaan valt dus ook niet samen met de loodlijn op de ecliptica, maar maakt daarmede een hoek van ruim 5° . Eerstgenoemde loodlijn beschrijft in bijna 19 jaar om laatstgenoemde eene kegelvlakke, en het gevolg is dat de aardas zich wel in hoofdzaak om de loodlijn op de ecliptica beweegt, maar tevens telkens in iets minder dan 19 jaar eene kleine schommeling volbrengt.

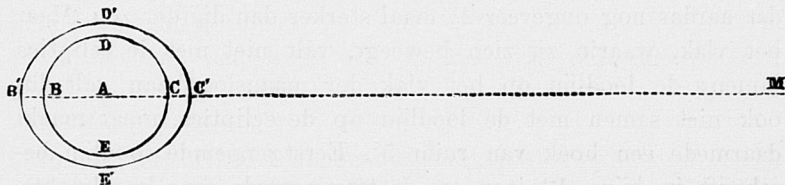
Men kan zich de werking der storingen 't best voorstellen door aan te nemen dat op een bepaald tijdstip elke planeet zich beweegt in eene ellips van bepaalden stand, grootte en gedaante, maar dat de grootheden, noodig om deze te bepalen, langzaam maar voortdurend ver-

anderen. Zoo zal in de figuur van bldz. 61 niet alleen de stand der lijnen $A_2 A_4$ en $A_1 A_3$ ten opzichte van $Q P$ veranderen (door de Praecessie wordt $\angle A_1 Z P$ steeds kleiner), maar ook de stand van de knoopenlijn DD_1 , de helling van het vlak DMD_1 op $A_1 A_2 A A_3 A_4$, de excentriciteit der beide ellipsen, de stand van de lijn der apsiden of groote as der maansloopbaan in haar eigen vlak, enz., terwijl uit het bovenstaande blijkt, dat ook de helling der aardas op het vlak der ecliptica aan kleine schommelingen onderhevig is.

§ 5.

Watergetijden.

Ook de verschijnselen van *eb* en *vloed* op aarde hebben hunne volkomen verklaring gevonden uit de algemeene zwaartekracht; en wel daaruit, dat zoowel de zon als de maan sterker aantrekking uitoefenen op die deelen der zee, welke zich bevinden op het naar hen toegekeerde deel der aarde, zwakker op die deelen der zee, die zich aan de tegengestelde zijde bevinden, dan op den vasten aardbol zelve.



Laat $CDBE$ de aarde voorstellen, en $C'D'B'E'$ de omhullende oceaan, terwijl M de maan verbeeldt. Nu zal C' sterker, B' minder sterk dan het middelpunt A door M worden aangetrokken, en daarom zal ten gevolge der aantrekking van M , de vaste massa der aarde zich minder dan de waterdeelen in C , maar meer dan die in B , in de richting naar M verplaatsen, weshalve de afstanden $A C'$ en $A B'$ beiden grooter zullen wor-

den, dan zij zonder die aantrekking zouden zijn. Daardoor zal de oceaan een meer langwerpigen vorm aannemen, en het water zal opgehoogd worden in de punten C en B. Er zal dus *vloed* zijn aan de punten der aarde, die naar de maan toe- en van haar afgekeerd zijn. Aan de tusschen deze beide gelegen punten, (zoo als D en E), zal er *eb* zijn.

Ditzelfde moet ook de zon uitwerken; maar omdat de zon zoo veel malen verder van de aarde verwijderd is dan de maan, zal wel is waar de totale aantrekking, die de zon op de aarde uitoefent, veel malen die van de maan overtreffen, maar het *onderscheid* tusschen de aantrekkingen, die de verschillende deelen der aardoppervlakte ondervinden, zal voor de maan grooter zijn dan voor de zon. Derhalve zouden zon en maan elk op zich zelf de verschijnselen van vloed en eb voortbrengen, maar de maan in sterker mate dan de zon.

Evenals de schijnbare dagelijksche beweging der maan van het Oosten naar het Westen plaats heeft, evenzoo zal de vloedgolf zich voortdurend van het O. naar het W. verplaatsen, en daar de maan na omstreeks 25^u weder in den meridiaan eener plaats terugkeert, zoo zal elke plaats telkens na omstreeks 12 $\frac{1}{2}$ ^u weder vloed hebben.

De werking der zon zal die der maan versterken of verzwakken. Bij N. M. en V. M. werken zon en maan te zamen, en men heeft den hoogsten vloed en de laagste eb, *springvloed*. Bij E. K. en L. K. echter wordt de werking der maan door die van de zon verminderd, en men heeft dan het zoogenaamde *doode getij*.

Zal bovenstaande verklaring werkelijk van de verschijnselen rekenschap geven, dan moet men er bij in rekening brengen, dat de zee onze aarde niet geheel omgeeft, maar dat hare bewegingen in vele opzichten belemmerd worden door den vorm van vaste landen en eilanden. Den tijd, die er dientengevolge op eenige plaats verloopt, van het oogenblik af dat de maan er door den meridiaan gaat tot op het oogenblik van hoog

water, noemt men den *haventijd* van die plaats. Deze moet uit lang voortgezette waarnemingen worden gevonden. Hij is veranderlijk, maar de regels, volgens welke die veranderingen plaats hebben, zijn door de wiskunde bekend geworden, en daarom is men in staat, voor de verschillende havens, de uren van hoog en laag water vooruit te berekenen.

§ 6.

Jaarlijksche Parallaxis.

Aan het einde van dit Hoofdstuk moeten wij nog een paar zaken aanstippen, die met de sinds COPPERNICUS aangenomen wereldbeschouwing in verband staan.

Bij de jaarlijksche beweging der aarde om de zon, verplaatst zij zich wezenlijk in de ruimte en de richtingen, waarin wij de sterren zien, moeten dus voortdurend veranderen.

COPPERNICUS zag reeds in, dat dit het geval moest zijn, en dat het niet merkbare hiervan als een bezwaar tegen zijn stelsel kon worden aangevoerd. Hij aarzelde niet het bezwaar te er-

kennen, maar verklaarde het door te zeggen, dat de vaste sterren zoo ver van zon en aarde verwijderd zijn, dat de afstand van deze beiden te klein was, om tot maat van den afstand der vaste sterren tot ons te dienen, ten minste bij de toenmalige nauwkeurigheid der waarnemingen. Hij spoorde de toekomstige sterrenkundigen aan, dit punt in gedachte te houden.

Hieraan is voldaan. Steeds is de kunst van waarnemen vooruit gegaan; steeds zocht men naar de parallaxis, maar vond ze niet eer dan in 1836 en volgende jaren, en slechts van enkele sterren.

Zij in nevensstaande figuur Z de zon, S eene ster,



A B eene middellijn van de loopbaan der aarde, en wel die, welke loodrecht op Z S staat, dan noemt men $\angle A S Z$ de *jaarlijksche of heliocentrische parallaxis*.

Hoe kleiner deze is, des te verder is de vaste ster van ons verwijderd. Daar de grootste waarde die men voor $\angle A S Z$ heeft gevonden, minder dan 1" bedraagt, zoo kan men daaruit afleiden dat voor de naastbij gelegen vaste ster toch nog $ZS > 200000 ZA$ is.

§ 7.

Aberratie en snelheid van het licht.

Bij het zoeken naar de jaarlijksche parallaxis der vaste sterren vond BRADLEY (zie § 4), dat alle vaste sterren kleine verplaatsingen aan den sterrenhemel schenen te ondergaan, die echter niet door het bestaan van eene jaarlijksche parallaxis konden verklaard worden. Hij toonde in 1728 aan, dat de oorzaak te zoeken was in hetgeen hij *aberratie* of *afdwaling van het licht* noemde.

Het licht plant zich wel voort met eene groote snelheid, maar niet plotseling. Ten gevolge van de beweging der aarde zullen wij alle voorwerpen daar buiten niet juist in dezelfde richting zien als wanneer zij stilstond; evenals iemand die snel voortloopt, den loodrecht nedervallenden regen in eene schuinsche richting meent te zien vallen.

Ook zien wij de hemellichamen, die zelf in beweging zijn, zooals de planeten, in den stand, dien zij hadden, toen het licht dat wij zien, werd uitgezonden, en niet in dien, welken zij innemen op het oogenblik der waarneming.

Wat de *snelheid van het licht* aangaat, deze is in 1675 door RÖMER gevonden uit de verschijnselen, die de manen van Jupiter opleveren, bij hunne beweging om de planeet. De grootste en

de kleinste afstand van Jupiter tot de aarde verschillen van elkaar zooveel als de dubbele afstand van de aarde tot de zon bedraagt. Het licht heeft dus, om van Jupiter tot ons te komen, soms meer tijd noodig dan anders.

In 1849 hebben FIZEAU en FOUCAULT toestellen bedacht, waarmee men de snelheid van het licht kan meten, zonder tot hemelverschijnselen de toevlucht te nemen. Men heeft daarmede uitkomsten verkregen, in overeenstemming met die, welke volgens RÖMER's methode zijn gevonden. Men rekent dat het licht 8^m. 18^s. noodig heeft, om van de zon tot de aarde te komen, en eene snelheid bezit van omstreeks 300 000 K.M. in de seconde.

ACHTSTE HOOFDSTUK.

TEGENWOORDIGE KENNIS VAN HET ZONNESTELSEL.
IETS OVER DE HOOGERE STREKEN DES HEMELS.

§ 1.

Uranus en Neptunus.

WILLIAM HERSCHEL ontdekte den 13 Maart 1781 onder de hemellichamen, op welke hij zijn teleskoop richtte, een sterretje dat zich door zijn voorkomen van de vaste sterren onderscheidde, en daarom eerst door hem voor eene komeet werd gehouden; spoedig bleek het dat dit sterretje eene planeet was, die zich even als de van ouds bekende, om de zon beweegt, maar op een afstand, omstreeks dubbel zoo groot als die van Saturnus. Deze nieuwe planeet ontving den naam van *Uranus*.

Men legde er zich vlijtig op toe om door waarnemingen en berekeningen, met inachtneming der storingen die zij van de bekende planeten ondervindt, haar loop na te sporen, en berekende tafels om ook voor het vervolg de plaatsen te kunnen nagaan, waar zij zich aan den hemel zou vertoonen. Bij latere vergelijking van de plaats, die Uranus op eenig bepaald tijdstip aan den hemel innam, met de plaats, die zij volgens die tafels zou moeten innemen, vond men verschillen, wel is waar zeer

klein, maar die toch tot het besluit brachten, dat er nog eene onbekende werking op Uranus werd uitgeoefend. LEVERRIER te Parijs nam aan, dat die werking bestond in de storing, veroorzaakt door eene nog onbekende planeet, nog verder dan Uranus van de zon verwijderd, en hij berekende de baan, die zulk eene planeet zou moeten doorloopen, en de plaats, waar men haar aan den hemel zou moeten aantreffen; — en werkelijk werd dit laatste op 23 Sept. 1846 door de waarnemingen van GALLE te Berlijn op schitterende wijze bevestigd. Deze planeet, van al de tot dusverre bekende planeten het verst van de zon verwijderd, wordt *Neptunus* genoemd.

Ook ADAMS te Cambridge was door berekening tot eene zelfde uitkomst gekomen als LEVERRIER; maar doordat dit eerst later bekend werd, is aan LEVERRIER alleen de eer der ontdekking te beurt gevallen.

§ 2.

Asteroiden.

Op den 1 Januari 1801 werd door PIAZZI te Palermo eene planeet ontdekt, die den naam van *Ceres* verkreeg, en die verder dan Mars, maar minder ver dan Jupiter, van de zon verwijderd was. Later heeft men nog vele zulke planeten ontdekt, zoodat wij er thans meer dan 240 kennen, die allen verder dan Mars, maar minder ver dan Jupiter van de zon verwijderd zijn, welker loopbanen alle de zon in het eene brandpunt hebben, maar zich overigens op eene zeer zonderlinge wijze door elkaar slingeren. Al deze planeten zijn veel kleiner dan eene der overige bekende planeten.

Men heeft wel eens gemeend, dat het stukken zouden zijn van eene grootere planeet, die in vroeger tijd in het zonnestelsel den rang tusschen Mars en Jupiter zou hebben ingenomen; deze onderstelling is echter niet bevestigd.

De tot deze groep behorende planeten noemt men veelal de *Asteroiden*.

Met het ongewapende oog zijn de later gevonden planeten niet te bespeuren; met kijkers zijn zij niet goed van vaste sterren te onderscheiden, en alleen hare verplaatsing ten opzichte van dezen verraaft haar aard.

Dat er aan de weinige van ouds bekende planeten in de laatste honderd jaren zoo vele werden toegevoegd, welker bestaan men vroeger volstrekt niet vermoedde. hebben wij te danken aan de voortdurende verbetering der kijkers, aan het vervaardigen van zeer nauwkeurige en volledige sterrenkaarten, maar bovenal aan den onvermoeiden ijver der sterrenkundigen.

§ 3.

Manen der planeten, en ring van Saturnus.

Reeds in Hoofdstuk VI. § 6 deelden wij mede, dat, terwijl onze aarde ééne maan heeft, Jupiter vergezeld is van 4 zulke *manen*, *satellieten* of *wachters*. Bij Saturnus heeft men acht en bij Uranus vier manen ontdekt en bij Neptunus ééne, terwijl eerst in 1877 ook bij Mars twee zeer kleine manen werden gevonden. Ook deze *manenstelsels* gehoorzamen aan de wetten van KEPLER.

De manen van Jupiter hebben aan RÖMER (Hoofdst. VII. § 7) een middel gegeven om de snelheid van voortplanting van het licht te bepalen. Zij bieden bij haar omloop verschijnselen aan, die kunnen dienen tot het bepalen van het tijdsverschil van plaatsen op aarde (Hoofdst. II § 4). Door den omloopstijd der manen, en haar afstand tot de planeet, kan men de massa dezer laatste bepalen (Hoofdst. VII. § 3).

GALILEI had waargenomen, dat het voorkomen van Saturnus afweek van dat der andere planeten. CHRISTIAAN HUYGENS ontdekte in 1665 hiervan de oorzaak: De planeet is omgeven door een platten cirkelvormigen ring, waarvan het vlak met dat van

den aequator der planeet samenvalt. De buitenrand van dezen ring heeft eene middellijn $2\frac{1}{2}$ maal, en de binnenrand $1\frac{1}{4}$ maal zoo groot als de middellijn van den aequator der planeet. Later is men tot het besluit gekomen, dat deze ring eigenlijk bestaat uit verschillende concentrieke ringen, die niet aan elkaar bevestigd zijn.

§ 4.

Onze tegenwoordige kennis van het zonnestelsel.

De tegenwoordig bekende planeten zijn dus, van de zon afgerekend:

Mercurius,
Venus,
de Aarde met ééne maan,
Mars met twee manen,
de Asteroïden,
Jupiter met vier manen,
Saturnus met ring en acht manen,
Uranus met vier manen en
Neptunus met ééne maan.

Om hare betrekkelijke aftanden tot de zon gemakkelijk te kunnen onthouden, heeft men den volgenden regel, die gewoonlijk *wet van Titius of Bode* wordt genoemd: Schrijf eenige termen op van de opklimmende meetkundige reeks, welker eerste term = 3 en welker reden = 2 is, plaats daarvóór het cijfer 0, en vermeerder elk dezer getallen met 4; dan vindt men de volgende rij getallen:

$$0 + 4 = 4 \text{ Mercurius.}$$

$$3 + 4 = 7 \text{ Venus.}$$

$$6 + 4 = 10 \text{ de Aarde.}$$

$$12 + 4 = 16 \text{ Mars.}$$

$$24 + 4 = 28 \text{ de Asteroïden.}$$

$$48 + 4 = 52 \text{ Jupiter.}$$

$$96 + 4 = 100 \text{ Saturnus.}$$

$$192 + 4 = 196 \text{ Uranus.}$$

$$384 + 4 = 388 \text{ Neptunus.}$$

en deze drukken vrij nauwkeurig de betrekkelijke afstanden uit van de planeten, wier namen er achter zijn geplaatst, tot de zon. Voor dat de Asteroïden waren ontdekt, ontbrak in deze reeks de term 28, en men vermoedde dat er nog eene planeet moest geweest zijn, op dien afstand van de zon. In plaats van eene vond men er vele, maar zeer kleine, maar voor deze is 28 slechts eene middelwaarde, daar de gemiddelde afstand tot de zon voor de eene grooter, voor de andere kleiner is, maar voor allen tusschen 16 en 52 ligt.

Ook voor Neptunus moest het getal 388 door 300 worden vervangen.

Deze *zoogenaamde* wet geldt dan ook slechts bij benadering, en zij is ook niet in de natuur gegrond.

Van deze planeten zijn de 4 laatstgenoemde veel grooter dan de aarde en hebben allen manen, terwijl de aarde er slechts ééne heeft; Venus is nagenoeg even groot als de aarde, Mars en Mercurius zijn merkelyk kleiner, de Asteroïden veel kleiner.

Voor zoover wij het kunnen nagaan, hebben de verschillende planeten, even als de aarde, eene wentelende beweging om eene as, en overeenkomstige afplattingen aan de polen. Allen bewegen zich om de zon volgens de wet van NEWTON, en dus ook volgens de wetten van KEPLER, en wel in ellipsen van kleine uitmiddelpuntigheid en in vlakken, die geringe hellingen hebben op het vlak der ecliptica.

De grootste uitmiddelpuntigheden en hellingen, die bij loopbanen van planeten voorkomen, vindt men bij de Asteroïden.

Door de 3e wet van KEPLER (Hoofdst. VII. § 1) kan men uit de omloopstijden der verschillende planeten om de zon, haar gemiddelde afstanden tot dit hemellichaam uitdrukken, in den gemiddelden *afstand der aarde tot de zon als eenheid van lengte*.

Door de aantrekking, die de zon op de aarde uitoefent, te vergelijken met de aantrekking der aarde zelve (Hoofdst. VII. § 3), vindt men de verhouding tusschen de massa der zon en die der aarde. De massa's der

planeten vindt men, hetzij door de aantrekking die zij op hare manen uitoefenen, hetzij door de storingen, die zij in den loop der andere planeten teweegbrengen (Hoofdst. VII. § 4). De laatste methode moet bij Mercurius en Venus gebruikt worden, daar deze planeten van geen wachters voorzien zijn.

Voor Jupiter, verreweg de grootste der planeten, heeft men eene massa gevonden $= \frac{1}{1047,6}$ van die der zon.

Om den gemiddelden afstand der aarde tot de zon uit te drukken in aardstralen maakt men gebruik van de horizontale parallaxis der zon (Hoofdst. IV. § 7). Deze grootheid wordt onderanderen door overgangen van Venus over de zonneshijf bepaald.

Om de massa der aarde of, wat op hetzelfde neerkomt, hare *gemiddelde dichtheid* te bepalen, heeft men hare aantrekking met die van massa's van bepaalde grootte, looden ballen of bolvormige massa's kwik (of met die van steile bergen) vergeleken. Volgens de nauwkeurigste bepalingen der laatste jaren neemt men voor die dichtheid 5,66 à 5,56 aan.

Strekt aan de eene zijde al wat wij in de laatste Hoofdstukken aanvoerden tot bevestiging van het stelsel van COPPERNICUS zooals het door KEPLER en NEWTON is volmaakt, aan den anderen kant vervalt daardoor de rang, dien men vroeger aan de aarde boven andere hemellichamen toekende. Wat haar voor ons de grootste waarde doet behouden, is dat zij ons tot woonplaats strekt. Of ook andere hemellichamen, en wel in de eerste plaats de andere planeten, bewoonbaar en bewoond zijn, daaromtrent kunnen wij niets dan gissen; zeker is het, dat zulke bewoners in vele opzichten van de aardbewoners zouden moeten verschillen.

Omtrent de samenstelling van zon en planeten verkeerde men tot dusverre geheel in het onzekere, omdat men door kijkers alleen met het uiterlijk voorkomen, en met de op de oppervlakte voorvallende verschijnselen kon bekend worden. In de laatste jaren heeft de sterrenkunde in de *spectraal-analyse* een machtigen bondgenoot gevonden, om onze kennis, vooral van de zon, uit te breiden.

§ 5.

Kometen. Vallende sterren. Zodiakaal-licht.

Tot ons zonnestelsel worden ook gerekend te behooren de zoogenaamde *kometen* of *staartsterren*. Deze gehoorzamen even goed als de planeten aan de wet der algemeene zwaartekracht, en bewegen zich eveneens in banen, die de zon in het eene brandpunt hebben. Deze banen zijn langwerpiger dan die der planeten. De kometen kunnen slechts waargenomen worden, als zij in de nabijheid der zon en der aarde zijn.

Om deze redenen is het van de meeste kometen wel mogelijk te bepalen den stand van het vlak, waarin zij zich bewegen, de ligging der groote as van de loopbaan in dat vlak en den afstand van het perihelium tot de zon, maar onbekend blijft meestal de lengte der as en dus de omlooptijd. Van de meeste kometen kunnen wij dus den terugkeer niet voorspellen. Van enkele is dit echter met goed gevolg gelukt, 't zij doordat men ook de lengte van de as der loopbaan uit de waarnemingen kon berekenen, 't zij doordat de omlooptijd bekend werd, als het bleek dat de bekende loopbanen van twee op verschillende tijden waargenomen kometen zoodanig met elkaar overeen kwamen, dat men daaruit kon opmaken, dat het eenzelfde komeet was. Van de berekende omlooptijden zijn sommige zeer groot, andere niet grooter dan die van de meeste planeten.

De kometen onderscheiden zich van de planeten, behalve door de groote uitmiddelpuntigheid der baan, hoofdzakelijk door hare geringe massa, ten gevolge waarvan de storingen, die zij op den loop der planeten uitoefenen, onmerkbaar zijn. Deze daarentegen oefenen vaak groote storingen op den loop der kometen uit, en brengen soms groote veranderingen in de loopbaan te weeg.

Bij eene komeet neemt men gewoonlijk eene zoogenaamde *kern* waar, omringd door eene nevelachtige massa, die men

hoofd noemt, welke laatste meestal in een *staart* uitloopt. Deze is bijna altijd aan die zijde der komeet, welke van de zon is afgekeerd. Sommige kometen hebben meer dan een staart; vaak ontbreekt de staart geheel.

Het schijnt dat de kometen grootendeels uit zeer ijl, lichtend gas bestaan, maar dat er ook vaste deelen in kunnen voorkomen.

In de laatste jaren heeft men bepaaldelijk de aandacht gevestigd op de verschijnselen, bekend onder de namen van *vallende sterren*, *vuurbollen*, *luchtsteen*en. Men houdt ze voor lichamen, die alleen in grootte van de planeten verschillen, die dus aan de wetten der zwaartekracht gehoorzamen, en zichtbaar worden als zij den dampkring der aarde ontmoeten, en door de daarin ondervonden tegenstand eene hooge temperatuur aannemen. Ingeval zij geene merkbare afmeting hebben, noemt men ze vallende sterren; schijnbaar grootere heeten vuurbollen. Den naam van luchtsteen en ontvangen zij, als ze, op de aarde nedervallende, gevonden worden: het scheikundig onderzoek heeft in de luchtsteen en geene andere grondstoffen doen kennen, dan die ook op aarde voorkomen.

Het geheele jaar door worden die verschijnselen waargenomen; somtijds, zooals b. v. in bepaalde nachten in Augustus en November, in grooten getale: alsdan schijnen vele van een zelfde punt op den hemelbol uit te gaan, wat, naar de regelen der perspectief, op evenwijdigheid der banen wijst. Men neemt aan dat groote zwermen of ringen van zulke lichamen zich om de zon bewegen. De loopbaan van den Augustusring staat nagenoeg loodrecht op die der aarde: de Novemberzwerm beweegt zich in eene richting nagenoeg tegengesteld aan die van de aarde tijdens de ontmoeting.

Er schijnt een nauw verband te bestaan tusschen deze zwermen en sommige kometen, zoodat men tot het besluit is gekomen, dat de vallende sterren deeltjes zijn, die vroeger tot eene komeet behoord hebben, maar bij de vorming van eenen staart afgestooten zijn geworden.

Het zoogenaamde *zodiacaal-licht* wordt soms in het voorjaar

na zonsondergang in het westen, en in het najaar voor zonsopkomst in het oosten waargenomen, nagenoeg in den stand, dien de ecliptica op elk dier tijdstippen inneemt. Omtrent den aard van dit licht is men nog zeer in het onzekere.

§ 6.

Iets over de hoogere streken des hemels.

Ons zonnestelsel is slechts eene stip in het heelal. Dit blijkt reeds uit hetgeen (Hoofdst. VII. § 6) gezegd is omtrent den afstand der vaste sterren tot de aarde.

Vroeger (Hoofdst. I. § 3. p) spraken wij over de verdeeling van den hemel in sterrenbeelden; natuurlijk leeren deze ons niets omtrent het wezen of den toestand der sterren, daar zij veelal sterren bij elkaar voegen, die onmetelijk ver van elkaar verwijderd zijn.

Wat betreft het aantal vaste sterren, is men tot het besluit gekomen, dat men, met het bloote oog achtereenvolgens den geheelen sterrenhemel beschouwende, niet meer dan 4000 of, bij buitengewone scherpste van gezicht, 6000 sterren kan zien. Neemt men echter kijkers te baat, dan ontdekt men, naarmate deze sterker zijn, steeds meer sterren; dan lost zich b. v. het licht van den *melkweg* op in eene ontelbare menigte sterren, die te dicht opeen staan, om met het bloote oog onderscheiden te worden.

De spectraalanalyse heeft geleerd dat de vaste sterren zonnen zijn, met onze zon vergelijkbaar.

In het heelal is niets in volmaakte rust; de *zoogenaamde* vaste sterren verplaatsen zich allen, en de oorzaak dat wij ze als *vaste* sterren beschouwen, is eenig en alleen te zoeken in de zeer groote afstanden, die zij van ons hebben.

Ook onze zon verplaatst zich in de hemelruimte met alle, aan hare aantrekking onderworpen lichamen.

Wij kunnen hier niet stilstaan bij al hetgeen de sterrenhemel ons te beschouwen geeft: een enkel woord slechts over de zoogenaamde *dubbele sterren*. Met een kijker ontdekt men vaak twee of meer sterren, schijnbaar zoo dicht bijeen geplaatst, dat zij zich met zwakker kijker of het bloote oog slechts als ééne ster voordoen. Zulke sterren noemt men dubbele sterren. Men onderscheidt ze in *optische dubbele sterren*, welker nabijheid slechts schijnbaar is, omdat zij in dezelfde richting staan, van de aarde uit gezien, ofschoon de eene licht vele malen verder dan de andere van ons verwijderd is; en in *physische dubbele sterren*, die werkelijk blijken bij elkaar te behooren.

Het aandachtig beschouwen der dubbele sterren, en vooral het telkens meten van hun schijnbaren afstand en van de richting, waarin zij tot elkaar staan, kan ons gewichtige zaken leeren: deze meting kan ons bij optische dubbele sterren bekend maken met jaarlijksche parallaxis, te klein om op andere wijze bespeurd te worden; bij physische dubbele sterren hebben zulke metingen ons het bewijs geleverd, dat de wet der algemeene zwaartekracht geldig blijft, ook ver buiten de grenzen van ons zonnestelsel.

Chronologische tabel van de in dit werkje voorkomende jaartallen.

Jaren v. Christus.		Hfdst.
200	Eratosthenes.....	II, § 5.
120	Hipparchus.....	III, 4.
Jaren n. Christus.		
130	Ptolemaeus.....	VI, 1, 4.
1240	Alfonsus X.....	VI, 4.
1473—1543	Copernicus.....	V. 3. VI, 5.
1546—1601	Tycho Brahe.....	VI, 5.
1565—1642	Galileï.....	VI, 6.
1571—1630	Keppler.....	VII, 1.
1583	Galileï vindt de slingerwetten.....	V, 3, a.
1610	Galileï ontdekt de schijngestalten van Venus en de manen van Jupiter.....	VI, 6.
1617	Meting van W. Snellius.....	II, 5.
1629—1695	Chr. Huygens.....	II, 6. VIII, 3.
1642—1727	Newton.....	II, 6. VII, 3.
1655	Huygens ontdekt den ring van Saturnus.....	VIII, 3.
1672	Richer in Cayenne.....	V, 3, a.
1675	Römer bepaalt de snelheid van het licht.....	VII, 7.
1687	Newton geeft zijn werk „Principia” uit.....	VII, 3.
1717—1783	D'Alembert.....	VII, 4.
1728	Bradley ontdekt de aberratie; in 1748 de nutatie	VII, 7 en 4.
1735	G. Hadley verklaart de passaatwinden.....	V, 3, d.
1735—44	Graadmetingen in Peru en Lapland.....	II, 6.
1738—1822	W. Herschel.....	VIII, 1.
1781	W. Herschel ontdekt Uranus.....	VIII, 1.
1792—1806	Groote Fransche graadmeting.....	II, 5.
1801	Piazzi ontdekt Ceres.....	VIII, 2.
1802	Valproeven van Benzenberg.....	V, 3, c.
1834	„ „ Reich.....	V, 3, c.
1816—1852	De Russisch-Scandinavische Graadmeting.....	II, 5.
1836	Jaarlijksche parallaxis.....	VII, 6.
1846	Neptunus door Leverrier en Adams berekend, door Galle gevonden.....	VIII, 1.
1849	Proeven van Fizeau en Foucault ter bepaling van de snelheid van het licht.....	VII, 7.
1851	Slinger en gyroscoop van Foucault.....	V, 3, g & h.
1877	Manen van Mars ontdekt door A. Hall.....	VIII, 3.

1176518

Bij de uitgevers dezes zijn verschenen:

- D. BIERENS DE HAAN, Nouvelles Tables d'Intégrales définies,
4^o relié f 14,—.
- " " " Overzicht van de differentiaalrekening,
ingericht voor het gebruik bij hooger en middelbaar onderwijs,
met figuren f 2.90.
In half linnen band " 3,30.
- C. P. BURGER, Iets over onmeetbare getallen en bekorte reken-
wijzen bij het werken met decimale breuken. Tweede, verbeterde
druk f 0,50.
- G. J. VERDAM, Summarium van de beginselen, beschouwingen en
voorschriften, ontleend uit de redeneerkunde, en bevattende de
gronden voor het begrip van den aard en de regels voor het ge-
bruik der wiskundige methode. Derde, vermeerderde druk f 0,60.
- J. VAN LOGHEM, Beginselen der cijferkunst. 3 deeltjes . . . 0,90.
In half linnen bandjes " 1,05.
- " " Leerwijze ter vermindering en opsporing van re-
kenfouten door middel van de negen-, elf-, zeven en dertig-
en honderdeneen proef f 1,25.
- J. VAN LOGHEM en J. W. SCHAAP, Beginselen der theoretische
en practische bouwkundige rekenkunde. 2 deelen, met ant-
woorden f 3,—.
In half linnen banden " 3,30.

Elke afdeeling is afzonderlijk verkrijgbaar.

SICHERER, Deutsches lesebuch für schule und haus. 2 Theilen. f 3,—.

I. Erzählungen von Chr. Schmid. — Märchen von den Brüdern Grimm.

II. Erzählungen von J. P. Hebel. — Erzählungen von K. Stöber.

Elk deel is afzonderlijk verkrijgbaar à f 1,50.

W. A. ELBERTS, Kleine aardrijkskunde van het koninkrijk der
Nederlanden in dertig lessen. Met eene kaart. Zesde vermeer-
derde druk f 0,30.

In half linnen band " 0,35.

" " Wegwijzer bij het onderwijs der algemeene ge-
schiedenis, ten behoeve van diegenen welke zich tot eenig examen
willen voorbereiden. Vierde, verbeterde druk f 0,60.

In half linnen band " 0,70.

W. VAN RAVENHORST, De afleiding. Fransch lees- en vertaal-
boek, ingericht om den leerlingen de woordvormen te doen op-
merken f 0,60.

In half linnen band " 0,70.

